

10/085,204



日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2002年 2月26日

出 願 番 号

Application Number:

特願2002-050548

[ST.10/C]:

[JP2002-050548]

出 願 人

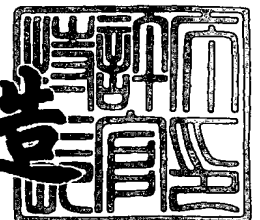
Applicant(s):

株式会社リコー

2002年 5月10日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2002-3034424

【書類名】 特許願

【整理番号】 0109564

【提出日】 平成14年 2月26日

【あて先】 特許庁長官 及川 耕造 殿

【国際特許分類】 H01S 3/05
H01S 3/08
H04B 10/12

【発明の名称】 光送受信システムおよび光通信システム

【請求項の数】 34

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号 株式会社リコー内

【氏名】 関谷 卓朗

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号 株式会社リコー内

【氏名】 加藤 正良

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号 株式会社リコー内

【氏名】 金井 健

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号 株式会社リコー内

【氏名】 桜井 彰

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号 株式会社リコー内

【氏名】 佐藤 俊一

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号 株式会社リコー内

【氏名】 佐藤 新治

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号 株式会社リコー内

【氏名】 軸谷 直人

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号 株式会社リコー内

【氏名】 菅原 悟

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号 株式会社リコー内

【氏名】 鈴木 幸栄

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号 株式会社リコー内

【氏名】 高橋 孝志

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号 株式会社リコー内

【氏名】 曳地 秀一

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号 株式会社リコー内

【氏名】 古田 輝幸

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号 株式会社リコー内

【氏名】 宮垣 一也

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号 株式会社リコー内

【氏名】 和多田 篤行

【特許出願人】

【識別番号】 000006747

【氏名又は名称】 株式会社リコー

【代理人】

【識別番号】 100070150

【弁理士】

【氏名又は名称】 伊東 忠彦

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 特願2001- 53225

【出願日】 平成13年 2月27日

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 002989

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9911477

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光送受信システムおよび光通信システム

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 活性層と、前記活性層の上部及び下部に設けられた反射鏡よりなる共振器構造とを備えた面発光レーザダイオード素子チップであって、前記反射鏡は反射波長が $1.1 \mu\text{m}$ 以上で屈折率が小さい第 1 の材料層と屈折率が高い第 2 の材料層とを周期的に繰り返した半導体分布ブラッグ反射鏡よりなり、前記第 1 の材料層と前記第 2 の材料層との間には、屈折率が前記第 1 の材料層と前記第 2 の材料層の間の値を有するヘテロスパイク緩衝層を、 5 nm 以上で前記分布ブラッグ反射鏡の設計反射波長を $\lambda [\mu\text{m}]$ として、 $(50\lambda - 15) [\text{nm}]$ 以下の厚さに設けた構成を有し、発光光源を構成する面発光レーザダイオード素子と、

前記発光光源に一端を光学的にカップリングされた光ファイバ伝送路と、

前記光ファイバ伝送路の他端に光学的にカップリングさせた受光ユニットとを備え、

前記発光光源を設置した場所 A と前記受光ユニットを設置した場所 B との間において、前記光ファイバ伝送路の方向変換を、前記光ファイバ伝送路そのものを、局所的な角度が形成されないように屈曲させることで行うことを特徴とする光送受信システム。

【請求項 2】 前記活性層は、主たる元素が Ga, In, N, As からなる層、もしくは Ga, In, As よりなる層よりなり、 $1.1 \sim 1.7 \mu\text{m}$ の光を発生することを特徴とする請求項 1 記載の光送受信システム。

【請求項 3】 前記第 1 の材料層は $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($0 < x \leq 1$) で表される組成を有し、前記第 2 の材料層は $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ ($0 \leq y < x \leq 1$) で表される組成を有し、前記ヘテロスパイク緩衝層は、 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$ ($0 \leq y < z < x \leq 1$) で表される組成を有することを特徴とする請求項 1 または 2 記載の光送受信システム。

【請求項 4】 活性層と、前記活性層の上部及び下部に設けられた反射鏡よりなる共振器構造とを備えた面発光レーザダイオード素子チップであって、前記

反射鏡は反射波長が $1.1\ \mu\text{m}$ 以上で屈折率が小さい第1の材料層と屈折率が大
 さい第2の材料層とを周期的に繰り返した半導体分布ブラッグ反射鏡よりなり、
 前記第1の材料層と前記第2の材料層との間には、屈折率が前記第1の材料層と
 前記第2の材料層の間の値を有するヘテロスパイク緩衝層を、 $5\ \text{nm}$ 以上で前記
 分布ブラッグ反射鏡の設計反射波長を $\lambda\ [\mu\text{m}]$ として、 $(50\lambda - 15)\ [\text{nm}]$
 以下の厚さに設けた構成を有し、発光光源を構成する面発光レーザダイオー
 ド素子と、

前記発光光源に一端を光学的にカップリングされた光ファイバ伝送路と、

前記光ファイバ伝送路の他端に光学的にカップリングさせた受光ユニットとを
 備え、

前記発光光源を設けた建物内のA地点と前記受光ユニットを設けた建物内のB
 地点との間に反射部材を設け、前記光ファイバ伝送路の方向変換を、前記反射部
 材で行うことを特徴とする光送受信システム。

【請求項5】 前記活性層は、主たる元素がGa, In, N, Asからなる
 層、もしくはGa, In, Asよりなる層よりなり、 $1.1\sim 1.7\ \mu\text{m}$ の光を
 発生することを特徴とする請求項4記載の光送受信システム。

【請求項6】 前記第1の材料層は $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($0 < x \leq 1$) で
 表される組成を有し、前記第2の材料層は $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ ($0 \leq y < x \leq 1$)
 で表される組成を有し、前記ヘテロスパイク緩衝層は、 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$
 ($0 \leq y < z < x \leq 1$) で表される組成を有することを特徴とする請求項4ま
 たは5記載の光送受信システム。

【請求項7】 装置内部における通信を行う光送受信システムであって、

装置と、

前記装置内に設けられ、光信号を形成するレーザ発光光源と、

前記装置内に設けられ、前記光信号を受光する受光ユニットと、

前記レーザ発光光源および受光ユニットのそれぞれの発光素子部および受光素
 子部をカバーするカバー部材とを備え、

前記レーザ発光光源は、活性層と、前記活性層の上部及び下部に設けられた反
 射鏡よりなる共振器構造とを備えた面発光レーザダイオード素子チップであって

、前記反射鏡は反射波長が $1.1\mu\text{m}$ 以上で屈折率が小さい第1の材料層と屈折率が高い第2の材料層とを周期的に繰り返した半導体分布ブラッグ反射鏡よりなり、前記第1の材料層と前記第2の材料層との間には、屈折率が前記第1の材料層と前記第2の材料層の間の値を有するヘテロスパイク緩衝層を、 5nm 以上で前記分布ブラッグ反射鏡の設計反射波長を $\lambda[\mu\text{m}]$ として、 $(50\lambda - 15)$ $[\text{nm}]$ 以下の厚さに設けた構成を有し、発光光源を構成する面発光レーザダイオード素子よりなることを特徴とする光送受信システム。

【請求項8】 前記活性層は、主たる元素がGa, In, N, Asからなる層、もしくはGa, In, Asよりなる層よりなり、 $1.1\sim 1.7\mu\text{m}$ の光を発生することを特徴とする請求項7記載の光送受信システム。

【請求項9】 前記第1の材料層は $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($0 < x \leq 1$) で表される組成を有し、前記第2の材料層は $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ ($0 \leq y < x \leq 1$) で表される組成を有し、前記ヘテロスパイク緩衝層は、 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$ ($0 \leq y < z < x \leq 1$) で表される組成を有することを特徴とする請求項7または8記載の光送受信システム。

【請求項10】 前記装置は、電子写真原理を用いた記録装置であることを特徴とする請求項7～9のうち、いずれか一項記載の光送受信システム。

【請求項11】 レーザ素子と、

前記レーザ素子に結合され、前記レーザ素子で形成されたレーザビームを受光する第1の光ファイバと、

前記第1の光ファイバに結合され、前記第1の光ファイバ中の光信号を伝送する第2の光ファイバと、

前記第2の光ファイバに結合され、前記第2の光ファイバ中の光を受光する第3の光ファイバと、

前記第3の光ファイバに結合され、前記第3の光ファイバ中の光を受光する受光素子とよりなる光通信システムにおいて、

前記レーザ素子は、活性層と、前記活性層の上部及び下部に設けられた反射鏡よりなる共振器構造とを備えた面発光レーザダイオード素子チップであって、前記反射鏡は反射波長が $1.1\mu\text{m}$ 以上で屈折率が小さい第1の材料層と屈折率が

大きい第2の材料層とを周期的に繰り返した半導体分布ブラッグ反射鏡よりなり、前記第1の材料層と前記第2の材料層との間には、屈折率が前記第1の材料層と前記第2の材料層の間の値を有するヘテロスパイク緩衝層を、5 nm以上で前記分布ブラッグ反射鏡の設計反射波長を λ [μ m]として、 $(50\lambda - 15)$ [nm]以下の厚さに設けた構成を有し、発光光源を構成する面発光レーザダイオード素子よりなることを特徴とする光送受信システム。

【請求項12】 前記活性層は、主たる元素がGa, In, N, Asからなる層、もしくはGa, In, Asよりなる層よりなり、 $1.1 \sim 1.7 \mu$ mの光を発生することを特徴とする請求項11記載の光送受信システム。

【請求項13】 前記第1の材料層は $Al_x Ga_{1-x} As$ ($0 < x \leq 1$)で表される組成を有し、前記第2の材料層は $Al_y Ga_{1-y} As$ ($0 \leq y < x \leq 1$)で表される組成を有し、前記ヘテロスパイク緩衝層は、 $Al_z Ga_{1-z} As$ ($0 \leq y < z < x \leq 1$)で表される組成を有することを特徴とする請求項11または12記載の光送受信システム。

【請求項14】 レーザ素子と、

前記レーザ素子に結合され、前記レーザ素子で形成されたレーザビームを受光する第1の光ファイバと、

前記第1の光ファイバに結合され、前記第1の光ファイバ中の光信号を伝送する第2の光ファイバと、

前記第2の光ファイバに結合され、前記第2の光ファイバ中の光を受光する第3の光ファイバと、

前記第3の光ファイバに結合され、前記第3の光ファイバ中の光を受光する受光素子とよりなる光通信システムにおいて、

前記レーザ素子は、活性層と、前記活性層の上部及び下部に設けられた反射鏡よりなる共振器構造とを備えた面発光レーザダイオード素子チップであって、前記反射鏡は反射波長が 1.1μ m以上で屈折率が小さい第1の材料層と屈折率が大きい第2の材料層とを周期的に繰り返した半導体分布ブラッグ反射鏡よりなり、前記第1の材料層と前記第2の材料層との間には、屈折率が前記第1の材料層と前記第2の材料層の間の値を有するヘテロスパイク緩衝層を、5 nm以上で前

記分布ブラッグ反射鏡の設計反射波長を λ [μm] として、 $(50\lambda - 15)$ [nm] 以下の厚さに設けた構成を有し、

前記第1の光ファイバは1mm以上の長さを有することを特徴とする光通信システム。

【請求項15】 前記活性層は、主たる元素がGa, In, N, Asからなる層、もしくはGa, In, Asよりなる層よりなり、 $1.1 \sim 1.7 \mu\text{m}$ の光を発生することを特徴とする請求項14記載の光通信システム。

【請求項16】 前記第1の材料層は $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($0 < x \leq 1$) で表される組成を有し、前記第2の材料層は $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ ($0 \leq y < x \leq 1$) で表される組成を有し、前記ヘテロスパイク緩衝層は、 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$ ($0 \leq y < z < x \leq 1$) で表される組成を有することを特徴とする請求項14または15記載の光通信システム。

【請求項17】 レーザ素子と、

前記レーザ素子に結合された光伝送路とよりなる光通信システムにおいて、

前記レーザ素子は、

活性層と、前記活性層の上部及び下部に設けられた反射鏡よりなる共振器構造とを備えた面発光レーザダイオード素子チップであって、前記反射鏡は反射波長が $1.1 \mu\text{m}$ 以上で屈折率が小さい第1の材料層と屈折率が高い第2の材料層とを周期的に繰り返した半導体分布ブラッグ反射鏡よりなり、前記第1の材料層と前記第2の材料層との間には、屈折率が前記第1の材料層と前記第2の材料層の間の値を有するヘテロスパイク緩衝層を、 5 nm 以上で前記分布ブラッグ反射鏡の設計反射波長を λ [μm] として、 $(50\lambda - 15)$ [nm] 以下の厚さに設けた構成を有し、

前記光伝送路は、コアとクラッドとからなる光ファイバよりなり、

前記コアの径をD、光ファイバの長さをLとしたとき、関係

$$10^5 \leq L/D \leq 10^9$$

が成立することを特徴とする光通信システム。

【請求項18】 前記活性層は、主たる元素がGa, In, N, Asからなる層、もしくはGa, In, Asよりなる層よりなり、 $1.1 \sim 1.7 \mu\text{m}$ の光

を発生することを特徴とする請求項17記載の光通信システム。

【請求項19】 前記第1の材料層は $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($0 < x \leq 1$) で表される組成を有し、前記第2の材料層は $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ ($0 \leq y < x \leq 1$) で表される組成を有し、前記ヘテロスパイク緩衝層は、 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$ ($0 \leq y < z < x \leq 1$) で表される組成を有することを特徴とする請求項17または18記載の光通信システム。

【請求項20】 レーザ素子と、

前記レーザ素子を実装される実装基板と、

前記レーザ素子に結合される光導波路とよりなる光通信システムにおいて、

前記レーザ素子は、

活性層と、前記活性層の上部及び下部に設けられた反射鏡よりなる共振器構造とを備えた面発光レーザダイオード素子チップであって、前記反射鏡は反射波長が $1.1\mu\text{m}$ 以上で屈折率が小さい第1の材料層と屈折率が高い第2の材料層とを周期的に繰り返した半導体分布ブラッグ反射鏡よりなり、前記第1の材料層と前記第2の材料層との間には、屈折率が前記第1の材料層と前記第2の材料層の間の値を有するヘテロスパイク緩衝層を、 5nm 以上で前記分布ブラッグ反射鏡の設計反射波長を $\lambda[\mu\text{m}]$ として、 $(50\lambda - 15)[\text{nm}]$ 以下の厚さに設けた構成を有し、発光光源を構成する面発光レーザダイオード素子とよりなり

前記レーザ素子と前記基板材料との間の線膨張係数の差が $2 \times 10^{-6}/\text{K}$ 以内であることを特徴とする光通信システム。

【請求項21】 前記活性層は、主たる元素がGa, In, N, Asからなる層、もしくはGa, In, Asよりなる層よりなり、 $1.1 \sim 1.7\mu\text{m}$ の光を発生することを特徴とする請求項20記載の光通信システム。

【請求項22】 前記第1の材料層は $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($0 < x \leq 1$) で表される組成を有し、前記第2の材料層は $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ ($0 \leq y < x \leq 1$) で表される組成を有し、前記ヘテロスパイク緩衝層は、 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$ ($0 \leq y < z < x \leq 1$) で表される組成を有することを特徴とする請求項20または21記載の光通信システム。

【請求項 23】 レーザ素子と、

前記レーザ素子に結合された光ファイバとよりなる光通信システムにおいて、
前記レーザ素子は、

活性層と、前記活性層の上部及び下部に設けられた反射鏡よりなる共振器構造とを備えた面発光レーザダイオード素子チップであって、前記反射鏡は反射波長が $1.1\ \mu\text{m}$ 以上で屈折率が小さい第 1 の材料層と屈折率が高い第 2 の材料層とを周期的に繰り返した半導体分布ブラッグ反射鏡よりなり、前記第 1 の材料層と前記第 2 の材料層との間には、屈折率が前記第 1 の材料層と前記第 2 の材料層の間の値を有するヘテロスパイク緩衝層を、 $5\ \text{nm}$ 以上で前記分布ブラッグ反射鏡の設計反射波長を $\lambda\ [\mu\text{m}]$ として、 $(50\lambda - 15)\ [\text{nm}]$ 以下の厚さに設けた構成を有し、発光光源を構成する面発光レーザダイオード素子とよりなり

前記光ファイバは、前記レーザ素子の発光部の方向にファイバ軸方向が押圧状態にされて機械的に接続されていることを特徴とする光通信システム。

【請求項 24】 前記活性層は、主たる元素が Ga, In, N, As からなる層、もしくは Ga, In, As よりなる層よりなり、 $1.1 \sim 1.7\ \mu\text{m}$ の光を発生することを特徴とする請求項 23 記載の光通信システム。

【請求項 25】 前記第 1 の材料層は $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($0 < x \leq 1$) で表される組成を有し、前記第 2 の材料層は $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ ($0 \leq y < x \leq 1$) で表される組成を有し、前記ヘテロスパイク緩衝層は、 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$ ($0 \leq y < z < x \leq 1$) で表される組成を有することを特徴とする請求項 23 または 24 記載の光通信システム。

【請求項 26】 レーザ素子と、

前記レーザ素子に光学的に結合された光ファイバまたは光導波路とを備えた光通信システムにおいて、

前記レーザ素子は、

活性層と、前記活性層の上部及び下部に設けられた反射鏡よりなる共振器構造とを備えた面発光レーザダイオード素子チップであって、前記反射鏡は反射波長が $1.1\ \mu\text{m}$ 以上で屈折率が小さい第 1 の材料層と屈折率が高い第 2 の材料層

とを周期的に繰り返した半導体分布ブラッグ反射鏡よりなり、前記第 1 の材料層と前記第 2 の材料層との間には、屈折率が前記第 1 の材料層と前記第 2 の材料層の間の値を有するヘテロスパイク緩衝層を、5 nm 以上で前記分布ブラッグ反射鏡の設計反射波長を λ [μm] として、 $(50\lambda - 15)$ [nm] 以下の厚さに設けた構成を有し、発光光源を構成する面発光レーザダイオード素子とよりなり

前記光ファイバまたは光導波路のコア径を X 、レーザダイオードの開口径を d 、レーザダイオードの光放射角を θ とすると、レーザダイオードから光ファイバまたは光導波路端までの光路長 l が、関係

$$d + 2l \tan(\theta/2) \leq X$$

が成立することを特徴とする光通信システム。

【請求項 27】 前記活性層は、主たる元素が Ga, In, N, As からなる層、もしくは Ga, In, As よりなる層よりなり、1.1 ~ 1.7 μm の光を発生することを特徴とする請求項 26 記載の光通信システム。

【請求項 28】 前記第 1 の材料層は $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($0 < x \leq 1$) で表される組成を有し、前記第 2 の材料層は $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ ($0 \leq y < x \leq 1$) で表される組成を有し、前記ヘテロスパイク緩衝層は、 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$ ($0 \leq y < z < x \leq 1$) で表される組成を有することを特徴とする請求項 26 または 27 記載の光通信システム。

【請求項 29】 レーザ素子と、

前記レーザ素子に結合される光導波路とよりなる光通信システムにおいて、

前記レーザ素子は、

活性層と、前記活性層の上部及び下部に設けられた反射鏡よりなる共振器構造とを備えた面発光レーザダイオード素子チップであって、前記反射鏡は反射波長が 1.1 μm 以上で屈折率が小さい第 1 の材料層と屈折率が高い第 2 の材料層とを周期的に繰り返した半導体分布ブラッグ反射鏡よりなり、前記第 1 の材料層と前記第 2 の材料層との間には、屈折率が前記第 1 の材料層と前記第 2 の材料層の間の値を有するヘテロスパイク緩衝層を、5 nm 以上で前記分布ブラッグ反射鏡の設計反射波長を λ [μm] として、 $(50\lambda - 15)$ [nm] 以下の厚さに

設けた構成を有し、発光光源を構成する面発光レーザダイオード素子とよりなり

該面発光レーザダイオード素子中の光出射部に内接する円の直径を d 、光ファイバのコア直径を F とすると、関係

$$0.5 \leq F/d \leq 2$$

が成立することを特徴とする光通信システム。

【請求項 30】 前記活性層は、主たる元素が Ga 、 In 、 N 、 As からなる層、もしくは Ga 、 In 、 As よりなる層よりなり、 $1.1 \sim 1.7 \mu m$ の光を発生することを特徴とする請求項 29 記載の光通信システム。

【請求項 31】 前記第 1 の材料層は $Al_x Ga_{1-x} As$ ($0 < x \leq 1$) で表される組成を有し、前記第 2 の材料層は $Al_y Ga_{1-y} As$ ($0 \leq y < x \leq 1$) で表される組成を有し、前記ヘテロスパイク緩衝層は、 $Al_z Ga_{1-z} As$ ($0 \leq y < z < x \leq 1$) で表される組成を有することを特徴とする請求項 29 または 30 記載の光通信システム。

【請求項 32】 レーザ素子と、

前記レーザチップに結合された光導波路とよりなる光通信システムにおいて、
前記レーザ素子は、

活性層と、前記活性層の上部及び下部に設けられた反射鏡よりなる共振器構造とを備えた面発光レーザダイオード素子チップであって、前記反射鏡は反射波長が $1.1 \mu m$ 以上で屈折率が小さい第 1 の材料層と屈折率が高い第 2 の材料層とを周期的に繰り返した半導体分布ブラッグ反射鏡よりなり、前記第 1 の材料層と前記第 2 の材料層との間には、屈折率が前記第 1 の材料層と前記第 2 の材料層の間の値を有するヘテロスパイク緩衝層を、 $5 nm$ 以上で前記分布ブラッグ反射鏡の設計反射波長を $\lambda [\mu m]$ として、 $(50\lambda - 15) [nm]$ 以下の厚さに設けた構成を有し、発光光源を構成する面発光レーザダイオード素子とよりなり

前記面発光レーザダイオード素子チップの光射出部の面積を $S (mm^2)$ 、レーザ素子動作電圧を $V (V)$ として、 V/S を $15000 \sim 30000$ の範囲にしたことを特徴とする光通信システム。

【請求項 3 3】 前記活性層は、主たる元素が Ga, In, N, As からなる層、もしくは Ga, In, As よりなる層よりなり、 $1.1 \sim 1.7 \mu\text{m}$ の光を発生することを特徴とする請求項 3 2 記載の光通信システム。

【請求項 3 4】 前記第 1 の材料層は $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($0 < x \leq 1$) で表される組成を有し、前記第 2 の材料層は $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ ($0 \leq y < x \leq 1$) で表される組成を有し、前記ヘテロスパイク緩衝層は、 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$ ($0 \leq y < z < x \leq 1$) で表される組成を有することを特徴とする請求項 3 2 または 3 3 記載の光通信システム。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は一般に光通信に係り、特に基板面に対して略垂直方向に出射するレーザービームを形成する、いわゆる面発光レーザーダイオード、およびかかる面発光レーザーダイオードを用いた光送受信システムおよび光通信システムに関する。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

面発光レーザーダイオードは、基板の表面から略垂直方向にレーザービームを放射するレーザーダイオードであり、2次元並列集積が可能で、またその出力光の広がりが比較的狭い (10° 前後) ため光ファイバとの結合が容易である特徴を有し、さらに素子の検査が容易であるという特徴をも有している。そのため、面発光レーザーダイオードは、特に並列伝送型の光送信モジュール (光インタコネクション装置) を構成するのに適しており、研究・開発が盛んに行なわれている。光インタコネクション装置の当面の応用対象は、コンピュータ等の筐体間やボード間の並列接続、また短距離の光ファイバ通信等であるが、将来には大規模なコンピュータ・ネットワークや長距離大容量通信の幹線系への応用が期待されている。

【0 0 0 3】

一般に、面発光レーザーダイオードは、GaAs や GaInAs などの III-V 族化合物半導体からなる活性層と、当該活性層を上下に挟んで配置された上部

半導体分布ブラッグ反射鏡と下部半導体分布ブラッグ反射鏡からなる光共振器をもって構成されるが、端面発光レーザダイオードの場合に比較して光共振器の長さが著しく短いため、反射鏡の反射率を極めて高い値(99%以上)に設定することによってレーザ発振を起こし易くする必要がある。このため、通常はAlAsからなる低屈折率材料とGaAsからなる高屈折率材料とを、 $1/4$ 波長の周期で交互に積層することによって形成した半導体分布ブラッグ反射鏡が使用されている。

【0004】

しかしながら上述したような構造を有する従来の半導体分布ブラッグ反射鏡では、バンドギャップの異なる物質を交互に成長させるため、ヘテロ界面でのバンドの不連続によりバンドにスパイクが生じ、これがキャリアに対する障壁として作用し、半導体多層膜部分での電気抵抗が非常に高くなってしまう問題が生じていた。このため、一般的なGaAsからなる面発光レーザを動作させるには2.5V程度の比較的高い動作電圧が必要で、CMOSからなるレーザダイオード駆動IC(レーザダイオード駆動電圧は2V以下)と組み合わせて用いる事は困難であった。この動作電圧2.5Vの内訳は、ダイオードの部分で1.5V、素子抵抗で1Vとなっており、2V以下で動作させるためには素子抵抗を半分以下にしなければならない。これは現状では非常に困難な課題である。

【0005】

一方、光通信に使用されるようなレーザ波長が $1.1\mu\text{m}$ 以上の長波長帯域のレーザ、例えばレーザ波長が $1.3\mu\text{m}$ 帯域や $1.55\mu\text{m}$ 帯域の長波長帯域レーザの場合には、ダイオード部分に1V以下の電圧しかかからないため低電圧動作が期待されるが、現実には低電圧動作は実現されていない。従来の長波長帯域レーザでは製作基板にInPが用いられ、活性層にInGaAsPが用いられているが、基板を構成するInPの格子定数が大きく、これに整合する反射鏡材料では屈折率差が大きく取れず、従って積層数を40対以上とすることが必要になる。しかし、このように反射鏡の積層数を増やすと反射鏡部分での抵抗が大きくなってしまい、やはりCMOSからなるレーザダイオード駆動ICと組み合わせて用いるのは困難であった。

【0006】

また InP 基板上に形成される面発光レーザダイオードには、別の問題として、温度によって特性が大きく変化する問題がある。このため、このような InP 基板を使ったレーザダイオードでは温度を一定にする装置を付加して使用する必要があり、安価に形成できることが厳しく要求される民生用の装置に使用することは困難であった。このように、InP 基板を使った面発光レーザダイオードは、積層数と温度特性の問題から、実用的な長波長面発光半導体は、未だ実用化されるに至っていない。

【0007】

上記問題を解決すべく、特開平9-237942号公報にはGaAs基板を用い、上下少なくとも一方の半導体分布ブラッグ反射鏡の低屈折率層にGaAs基板と格子整合するAlInPからなる半導体層を用い、さらに、前記上下少なくとも一方の半導体分布ブラッグ反射鏡の高屈折率層にGaInNAsからなる半導体層を用い、従来よりも大きい屈折率差を実現することで、より少ない積層数で高反射率を実現した半導体分布ブラッグ反射鏡、およびかかる半導体分布ブラッグ反射鏡を有する面発光レーザダイオードが記載されている。

【0008】

また、前記従来の面発光レーザダイオードでは、GaInNAsを活性層の材料として使用している。活性層を構成するGaInAs系のIII-V族化合物半導体にNを導入することにより、活性層のバンドギャップ（禁制帯幅）を1.4 eV減少させることができ、その結果、0.85 μ mよりも長い波長を発光することが可能となる。上記従来技術においては、GaInNAs系の材料はGaAs基板と格子整合が可能であり、従ってGaInNAsからなる半導体層は1.3 μ m帯及び1.55 μ m帯の長波長面発光レーザダイオードのための材料として好ましい点についても記載されている。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら従来より、このような0.85 μ mよりも長い波長帯域の面発光レーザダイオードの可能性を示唆する記載はあっても、実際にはそのようなもの

は実現していない。これは、基本的な構成は理論的にはほぼ決まってはいるものの、実際に安定したレーザ発光が得られるようにするためのより具体的な構成がまだ不明であるためと考えられる。

【0010】

一例を挙げると、上記のようにAlAsからなる低屈折率材料とGaAsからなる高屈折率材料を1/4波長の周期で交互に積層することによって形成した半導体分布ブラッグ反射鏡を使用したレーザダイオードや、あるいは特開平9-237942号公報に開示されたもののよう半導体分布ブラッグ反射鏡の低屈折率層として基板と格子整合が取れるAlInPからなる半導体層を用いたレーザダイオードを実際に製作しても、レーザ素子が全く発光しない、あるいは仮に発光してもその発光効率が低く、実用レベルには程遠いものであるのが実情であった。

【0011】

これは、Alを含んだ材料が化学的に非常に活性であり、Alに起因する結晶欠陥が生じ易いためと考えられる。そこで、これを解決するために、特開平8-340146号公報や特開平7-307525号公報には、Alを含まないGaInNPとGaAsとにより半導体分布ブラッグ反射鏡を構成する技術が提案されている。しかしながら、GaInNPとGaAsとの屈折率差はAlAsとGaAsとの屈折率差に比べて約半分であり、従ってこの提案では反射鏡の積層数を非常に多くする必要がある、レーザダイオードの抵抗低減は困難である。

【0012】

すなわち現状では、コンピュータ・ネットワークなどで期待されている光ファイバ通信に使用できる、レーザ発振波長が1.1~1.7 μ mの長波長面発光レーザダイオードが存在せず、従って、これを用いた通信システムを構築することができない。

【0013】

また従来の面発光レーザでは、先にも説明したようにCMOS回路を使ったレーザダイオード駆動ICを使用する事が出来ず、そのため高価な特別な駆動回路を使う必要があったが、量産の容易なCMOSレーザダイオード駆動ICが使える

ればシステムの低価格が容易に実現できると考えられる。さらにCMOS回路を利用できれば、レーザ駆動ICの電源電圧を5Vから3.3Vに低減することも可能である。電源電圧をこのように低減させることができれば、システムの消費電力はおよそ半分近くまで低減することが可能であり、非常に大きな消費電力低減効果が得られる。

【0014】

前述のように現状ではコンピュータ・ネットワークなどで光ファイバ通信が期待されている。特に一般への普及のためには低価格なシステムの実現が必要とされている。しかし、この目的のために使用でき、CMOSレーザダイオード駆動ICと組み合わせて用いることが可能で、1.1~1.7 μ mの長波長帯域で発振する面発光レーザダイオードは存在しておらず、それを用いた通信システムも存在していない。

【0015】

また上述の半導体分布ブラッグ反射鏡では、バンドギャップの異なる物質を交互に成長させるため、ヘテロ界面でのバンド不連続によりバンドにスパイクが生じ、これがキャリアに対する障壁として作用し、半導体多層膜部分で電気抵抗が非常に高くなる問題が生じる。この効果もあって、一般的なGaAsからなる面発光レーザでは動作電圧が先にも説明したように2.5V程度と高く、CMOSからなるレーザダイオード駆動IC（レーザダイオード駆動電圧は2V以下）による駆動が困難となっていた。この動作電圧2.5Vの内訳は、ダイオード部分で1.5V、素子抵抗で1Vとなるため、2V以下で動作させるためには素子抵抗を半分以下にしなければならないが、これは現状では非常に困難な課題である。

【0016】

近年では、構内光送受信システムも構築されつつあり、このような構内光送受信システムも含めて、コンピュータ・ネットワーク等における光ファイバ通信が期待されている。特に一般への普及のためには低価格なシステムの実現が必要とされるが、それに使用できるような、CMOSレーザダイオード駆動ICと組み合わせて用いることが可能で、レーザ波長が1.1~1.7 μ mの長波長帯域面

発光レーザダイオードは、先にも説明したように存在しておらず、従ってそれを用いた通信システムが存在していない。

【 0 0 1 7 】

また、レーザ発振波長が $1.1 \sim 1.7 \mu\text{m}$ の長波長面発光レーザダイオードを用いた光通信システムにおいては、通常の Si からなる受光素子は $1.1 \sim 1.7 \mu\text{m}$ の波長を検出できないため、 $1.1 \sim 1.7 \mu\text{m}$ の波長に感度を有する受光素子を使用しなければならない。しかしながら比較的低価格な Si 受光素子に比べて $1.1 \sim 1.7 \mu\text{m}$ の波長に感度を有する受光素子は価格が高く、単純に Si 受光素子を $1.1 \sim 1.7 \mu\text{m}$ の波長に感度を有する受光素子へ置き換えただけでは、光通信システム全体の価格を上げてしまう原因となってしまう。したがって $1.1 \sim 1.7 \mu\text{m}$ の長波長面発光レーザダイオードを用いた光通信システムに対しては、単純な受光素子の置き換えではないシステムの実現が期待されている。

【 0 0 1 8 】

さらに下記に示すように、 GaInNAs を使った長波長面発光型レーザにおいては、高歪の GaInNAs 活性層が使われることがあるが、このようなレーザでは、実装基板の線膨張係数との差によって発生する熱応力により特性の劣化が生じることも懸念される。

【 0 0 1 9 】

ところで面発光レーザダイオードを用いた光通信システムでは、面発光レーザダイオードが高密度に配列できるため、従来の端面発光レーザダイオードを使った場合よりも光ファイバの実装する距離すなわち光ファイバ間の距離が短くなる。一般に光ケーブルに内蔵されている光ファイバ心線には、通信線識別のための着色層や識別符号（ID 符号）を付与するためのプラスチック製リング（マーカバンド）が付されている。しかし、光ファイバ間の距離が接近するとこれらの保護層やリングを付与するスペースは小さくなり、実際上は形成することは困難になる。しかし、光ファイバ間の距離が接近すると、これらの保護層やリングを付与するスペースは小さくなり、実際上は形成することは困難である。

【 0 0 2 0 】

また、面発光レーザダイオードのアレイ配列を有するモジュールを製品として製造する製造プロセスにおいては、アレイを構成する所定数のレーザについて品質が確保できなければ、該アレイは不良品扱いとなり、製品としての価値を失う。このことは、レーザダイオード製造プロセスにおける歩留りに関連しており、特にアレイ配列を必要とするモジュール製品の製造プロセスにおいて、正常に機能するモジュールの有効活用および製造プロセス全体の歩留り向上を実現できる製造プロセスの確立が切望されている。

【 0 0 2 1 】

以上要約すると、現状ではレーザ発振波長が $1.1 \sim 1.7 \mu\text{m}$ の長波長面発光レーザダイオード、およびそれを用いた光送受信システムは存在せず、その出現が切望されている。

【 0 0 2 2 】

そこで本発明は上記の課題を解決した、新規で有用な面発光レーザダイオード素子を使った光送受信システムおよび光通信システムを提供することを概括的課題とする。

【 0 0 2 3 】

本発明のより具体的な課題は、レーザ発振波長が $1.1 \sim 1.7 \mu\text{m}$ の長波長面発光レーザダイオードを使った光送受信システムにおいて、動作電圧、発振閾値電流等を低くできる面発光レーザダイオード素子チップを使うことにより、構築が容易な光送受信システムを提供することにある。

【 0 0 2 4 】

本発明の第2の課題は、動作電圧、発振閾値電流等を低減できる面発光レーザダイオード素子チップを発光光源として使うことにより、特に建物内において容易に構築できる光送受信システムを提供することにある。

【 0 0 2 5 】

本発明の第3の課題は、 $1.1 \sim 1.7 \mu\text{m}$ のレーザ発振波長帯域で安定に動作する長波長面発光レーザダイオード素子チップを発光光源として使うことにより、安定に動作させることができる光送受信システムを提供することにある。

【 0 0 2 6 】

本発明の第４の課題は、このような光送受信システムを実際に機器内に組み込んだ場合に発生する特有な課題を解決することにある。

【 0 0 2 7 】

本発明の第５の課題は、動作電圧、発振閾値電流等を低くできる面発光レーザダイオード素子チップを発光光源として利用した、エネルギー消費量が低く、安価な費用で製造できる光送受信システムを提供することにある。

【 0 0 2 8 】

本発明の第６の課題は、動作電圧、発振閾値電流等を低くできる面発光レーザダイオード素子を発光光源として利用し、さらに前記面発光レーザダイオード素子、あるいは前記素子を収容するモジュールパッケージから引き出される光ファイバケーブルの長さを一定長以上とすることにより、前記パッケージの組み立て時における生産性を向上でき、また容易に構築できる光通信システムを提供することにある。

【 0 0 2 9 】

本発明の第７の課題は、動作電圧、発振閾値電流等を低くできる面発光レーザダイオード素子を発光光源として利用した、低コストで大容量の光送信を可能とする光通信システムを提供することにある。

【 0 0 3 0 】

本発明の第８の課題は、動作電圧、発振閾値電流等を低くできる面発光レーザダイオード素子を発光光源として利用することにより、消費電力が小さく、レーザダイオードの特性変動を低減でき、さらに寿命低下を防止することによって高い信頼性を有する光通信システムを提供することにある。

【 0 0 3 1 】

本発明の第９の課題は、動作電圧、発振閾値電流等を低くできる面発光レーザダイオード素子を発光光源として利用することで、前記レーザ素子と光ファイバとの間に良好な光学的カップリングを実現できる光通信システムを提供することにある。

【 0 0 3 2 】

本発明の第１０の課題は、動作電圧、発振閾値電流等を低くできる面発光レー

ザダイオード素子チップを発光光源として利用することで、消費電力が小さく、部品点数が少なく、良好な光学的結合効率が可能な光通信システムを提供することにある。

【0033】

本発明の第11の課題は、動作電圧、発振閾値電流等を低くできる面発光レーザダイオード素子チップを発光光源として利用することにより、レーザビームが光ファイバに高い効率でカップリングする光通信システムを提供することにある。

【0034】

本発明の第12の課題は、動作電圧、発振閾値電流等を低くできる面発光レーザダイオード素子チップを発光光源として使うことにより、レーザ素子を破損させることなく使用できる光通信システムを提供することにある。

【0035】

【課題を解決するための手段】

本発明は上記の課題を、活性層と、前記活性層の上部及び下部に設けられた反射鏡よりなる共振器構造とを備えた面発光レーザダイオード素子チップであって、前記反射鏡は反射波長が $1.1\mu\text{m}$ 以上で屈折率が小さい第1の材料層と屈折率が高い第2の材料層とを周期的に繰り返した半導体分布ブラッグ反射鏡よりなり、前記第1の材料層と前記第2の材料層との間には、屈折率が前記第1の材料層と前記第2の材料層の間の値を有するヘテロスパイク緩衝層を、 5nm 以上で前記分布ブラッグ反射鏡の設計反射波長を $\lambda[\mu\text{m}]$ として、 $(50\lambda - 15)$ $[\text{nm}]$ 以下の厚さに設けた構成を有し、発光光源を構成する面発光レーザダイオード素子と、前記発光光源に一端を光学的にカップリングされた光ファイバ伝送路と、前記光ファイバ伝送路の他端に光学的にカップリングさせた受光ユニットとを備え、前記発光光源を設置した場所Aと前記受光ユニットを設置した場所Bとの間において、前記光ファイバ伝送路の方向変換を、前記光ファイバ伝送路そのものを、局所的な角度が形成されないように屈曲させることを行うことを特徴とする光送受信システムにより、解決する。

【0036】

本発明はまた上記の課題を、活性層と、前記活性層の上部及び下部に設けられた反射鏡よりなる共振器構造とを備えた面発光レーザダイオード素子チップであって、前記反射鏡は反射波長が $1.1\mu\text{m}$ 以上で屈折率が小さい第1の材料層と屈折率が高い第2の材料層とを周期的に繰り返した半導体分布ブラッグ反射鏡よりなり、前記第1の材料層と前記第2の材料層との間には、屈折率が前記第1の材料層と前記第2の材料層の間の値を有するヘテロスパイク緩衝層を、 5nm 以上で前記分布ブラッグ反射鏡の設計反射波長を $\lambda[\mu\text{m}]$ として、 $(50\lambda - 15)[\text{nm}]$ 以下の厚さに設けた構成を有し、発光光源を構成する面発光レーザダイオード素子と、前記発光光源に一端を光学的にカップリングされた光ファイバ伝送路と、前記光ファイバ伝送路の他端に光学的にカップリングさせた受光ユニットとを備え、前記発光光源を設けた建物内のA地点と前記受光ユニットを設けた建物内のB地点との間に反射部材を設け、前記光ファイバ伝送路の方向変換を、前記反射部材で行うことを特徴とする光送受信システムにより、解決する。

【 0 0 3 7 】

本発明はまた上記の課題を、装置内部における通信を行う光送受信システムであって、装置と、前記装置内に設けられ、光信号を形成するレーザ発光光源と、前記装置内に設けられ、前記光信号を受光する受光ユニットと、前記レーザ発光光源および受光ユニットのそれぞれの発光素子部および受光素子部をカバーするカバー部材とを備え、前記レーザ発光光源は、活性層と、前記活性層の上部及び下部に設けられた反射鏡よりなる共振器構造とを備えた面発光レーザダイオード素子チップであって、前記反射鏡は反射波長が $1.1\mu\text{m}$ 以上で屈折率が小さい第1の材料層と屈折率が高い第2の材料層とを周期的に繰り返した半導体分布ブラッグ反射鏡よりなり、前記第1の材料層と前記第2の材料層との間には、屈折率が前記第1の材料層と前記第2の材料層の間の値を有するヘテロスパイク緩衝層を、 5nm 以上で前記分布ブラッグ反射鏡の設計反射波長を $\lambda[\mu\text{m}]$ として、 $(50\lambda - 15)[\text{nm}]$ 以下の厚さに設けた構成を有し、発光光源を構成する面発光レーザダイオード素子よりなることを特徴とする光送受信システムにより、解決する。

【 0 0 3 8 】

本発明はまた上記の課題を、かかる発光素子部および受光素子部をカバーするカバー部材を備えた光送受信システムを、電子写真原理を用いた記録装置に適用することで解決する。

【 0 0 3 9 】

本発明はまた上記の課題を、レーザ素子と、前記レーザ素子に結合され、前記レーザ素子で形成されたレーザビームを受光する第1の光ファイバと、前記第1の光ファイバに結合され、前記第1の光ファイバ中の光信号を伝送する第2の光ファイバと、前記第2の光ファイバに結合され、前記第2の光ファイバ中の光を受光する第3の光ファイバと、前記第3の光ファイバに結合され、前記第3の光ファイバ中の光を受光する受光素子とよりなる光通信システムにおいて、前記レーザ素子は、活性層と、前記活性層の上部及び下部に設けられた反射鏡よりなる共振器構造とを備えた面発光レーザダイオード素子チップであって、前記反射鏡は反射波長が $1.1\mu\text{m}$ 以上で屈折率が小さい第1の材料層と屈折率が高い第2の材料層とを周期的に繰り返した半導体分布ブラッグ反射鏡よりなり、前記第1の材料層と前記第2の材料層との間には、屈折率が前記第1の材料層と前記第2の材料層の間の値を有するヘテロスパイク緩衝層を、 5nm 以上で前記分布ブラッグ反射鏡の設計反射波長を $\lambda[\mu\text{m}]$ として、 $(50\lambda - 15)[\text{nm}]$ 以下の厚さに設けた構成を有し、発光光源を構成する面発光レーザダイオード素子よりなることを特徴とする光送受信システムにより、解決する。

【 0 0 4 0 】

本発明はまた上記の課題を、レーザ素子と、前記レーザ素子に結合され、前記レーザ素子で形成されたレーザビームを受光する第1の光ファイバと、前記第1の光ファイバに結合され、前記第1の光ファイバ中の光信号を伝送する第2の光ファイバと、前記第2の光ファイバに結合され、前記第2の光ファイバ中の光を受光する第3の光ファイバと、前記第3の光ファイバに結合され、前記第3の光ファイバ中の光を受光する受光素子とよりなる光通信システムにおいて、前記レーザ素子は、活性層と、前記活性層の上部及び下部に設けられた反射鏡よりなる共振器構造とを備えた面発光レーザダイオード素子チップであって、前記反射鏡

は反射波長が $1.1 \mu\text{m}$ 以上で屈折率が小さい第 1 の材料層と屈折率が高い第 2 の材料層とを周期的に繰り返した半導体分布ブラッグ反射鏡よりなり、前記第 1 の材料層と前記第 2 の材料層との間には、屈折率が前記第 1 の材料層と前記第 2 の材料層の間の値を有するヘテロスパイク緩衝層を、 5 nm 以上で前記分布ブラッグ反射鏡の設計反射波長を $\lambda [\mu\text{m}]$ として、 $(50\lambda - 15) [\text{nm}]$ 以下の厚さに設けた構成を有し、前記第 1 の光ファイバは 1 mm 以上の長さを有することを特徴とする光通信システムにより、解決する。

【 0 0 4 1 】

本発明はまた上記の課題を、レーザ素子と、前記レーザ素子に結合された光伝送路とよりなる光通信システムにおいて、前記レーザ素子は、活性層と、前記活性層の上部及び下部に設けられた反射鏡よりなる共振器構造とを備えた面発光レーザダイオード素子チップであって、前記反射鏡は反射波長が $1.1 \mu\text{m}$ 以上で屈折率が小さい第 1 の材料層と屈折率が高い第 2 の材料層とを周期的に繰り返した半導体分布ブラッグ反射鏡よりなり、前記第 1 の材料層と前記第 2 の材料層との間には、屈折率が前記第 1 の材料層と前記第 2 の材料層の間の値を有するヘテロスパイク緩衝層を、 5 nm 以上で前記分布ブラッグ反射鏡の設計反射波長を $\lambda [\mu\text{m}]$ として、 $(50\lambda - 15) [\text{nm}]$ 以下の厚さに設けた構成を有し、前記光伝送路は、コアとクラッドとからなる光ファイバよりなり、前記コアの径を D 、光ファイバの長さを L としたとき、関係 $10^5 \leq L/D \leq 10^9$ が成立することを特徴とする光通信システムにより、解決する。

【 0 0 4 2 】

本発明はまた上記の課題を、レーザ素子と、前記レーザ素子が実装される実装基板と、前記レーザ素子に結合される光導波路とよりなる光通信システムにおいて、前記レーザ素子は、活性層と、前記活性層の上部及び下部に設けられた反射鏡よりなる共振器構造とを備えた面発光レーザダイオード素子チップであって、前記反射鏡は反射波長が $1.1 \mu\text{m}$ 以上で屈折率が小さい第 1 の材料層と屈折率が高い第 2 の材料層とを周期的に繰り返した半導体分布ブラッグ反射鏡よりなり、前記第 1 の材料層と前記第 2 の材料層との間には、屈折率が前記第 1 の材料層と前記第 2 の材料層の間の値を有するヘテロスパイク緩衝層を、 5 nm 以上で

前記分布ブラッグ反射鏡の設計反射波長を λ [μm] として、 $(50\lambda - 15)$ [nm] 以下の厚さに設けた構成を有し、発光光源を構成する面発光レーザダイオード素子とよりなり、前記レーザ素子と前記基板材料との間の線膨張係数の差が $2 \times 10^{-6} / \text{K}$ 以内であることを特徴とする光通信システムにより、解決する。

【 0 0 4 3 】

本発明はまた上記の課題を、レーザ素子と、前記レーザ素子に結合された光ファイバとよりなる光通信システムにおいて、前記レーザ素子は、活性層と、前記活性層の上部及び下部に設けられた反射鏡よりなる共振器構造とを備えた面発光レーザダイオード素子チップであって、前記反射鏡は反射波長が $1.1 \mu\text{m}$ 以上で屈折率が小さい第1の材料層と屈折率が高い第2の材料層とを周期的に繰り返した半導体分布ブラッグ反射鏡よりなり、前記第1の材料層と前記第2の材料層との間には、屈折率が前記第1の材料層と前記第2の材料層の間の値を有するヘテロスパイク緩衝層を、 5 nm 以上で前記分布ブラッグ反射鏡の設計反射波長を λ [μm] として、 $(50\lambda - 15)$ [nm] 以下の厚さに設けた構成を有し、発光光源を構成する面発光レーザダイオード素子とよりなり、前記光ファイバは、前記レーザ素子の発光部の方向にファイバ軸方向が押圧状態にされて機械的に接続されていることを特徴とする光通信システムにより、解決する。

【 0 0 4 4 】

本発明はまた上記の課題を、レーザ素子と、前記レーザ素子に光学的に結合された光ファイバまたは光導波路とを備えた光通信システムにおいて、前記レーザ素子は、活性層と、前記活性層の上部及び下部に設けられた反射鏡よりなる共振器構造とを備えた面発光レーザダイオード素子チップであって、前記反射鏡は反射波長が $1.1 \mu\text{m}$ 以上で屈折率が小さい第1の材料層と屈折率が高い第2の材料層とを周期的に繰り返した半導体分布ブラッグ反射鏡よりなり、前記第1の材料層と前記第2の材料層との間には、屈折率が前記第1の材料層と前記第2の材料層の間の値を有するヘテロスパイク緩衝層を、 5 nm 以上で前記分布ブラッグ反射鏡の設計反射波長を λ [μm] として、 $(50\lambda - 15)$ [nm] 以下の厚さに設けた構成を有し、発光光源を構成する面発光レーザダイオード素子とよ

りなり、前記光ファイバまたは光導波路のコア径を X 、レーザダイオードの開口径を d 、レーザダイオードの光放射角を θ とすると、レーザダイオードから光ファイバまたは光導波路端までの光路長 l が、関係 $d + 2l \tan(\theta/2) \leq X$ が成立することを特徴とする光通信システムにより、解決する。

【0045】

本発明はまた上記の課題を、レーザ素子と、前記レーザ素子に結合される光導波路とよりなる光通信システムにおいて、前記レーザ素子は、活性層と、前記活性層の上部及び下部に設けられた反射鏡よりなる共振器構造とを備えた面発光レーザダイオード素子チップであって、前記反射鏡は反射波長が $1.1 \mu\text{m}$ 以上で屈折率が小さい第1の材料層と屈折率が高い第2の材料層とを周期的に繰り返した半導体分布ブラッグ反射鏡よりなり、前記第1の材料層と前記第2の材料層との間には、屈折率が前記第1の材料層と前記第2の材料層の間の値を有するヘテロスパイク緩衝層を、 5 nm 以上で前記分布ブラッグ反射鏡の設計反射波長を $\lambda [\mu\text{m}]$ として、 $(50\lambda - 15) [\text{nm}]$ 以下の厚さに設けた構成を有し、発光光源を構成する面発光レーザダイオード素子とよりなり、該面発光レーザダイオード素子中の光出射部に内接する円の直径を d 、光ファイバのコア直径を F とすると、関係 $0.5 \leq F/d \leq 2$ が成立することを特徴とする光通信システムにより、解決する。

【0046】

本発明はまた上記の課題を、レーザ素子と、前記レーザチップに結合された光導波路とよりなる光通信システムにおいて、前記レーザ素子は、活性層と、前記活性層の上部及び下部に設けられた反射鏡よりなる共振器構造とを備えた面発光レーザダイオード素子チップであって、前記反射鏡は反射波長が $1.1 \mu\text{m}$ 以上で屈折率が小さい第1の材料層と屈折率が高い第2の材料層とを周期的に繰り返した半導体分布ブラッグ反射鏡よりなり、前記第1の材料層と前記第2の材料層との間には、屈折率が前記第1の材料層と前記第2の材料層の間の値を有するヘテロスパイク緩衝層を、 5 nm 以上で前記分布ブラッグ反射鏡の設計反射波長を $\lambda [\mu\text{m}]$ として、 $(50\lambda - 15) [\text{nm}]$ 以下の厚さに設けた構成を有し、発光光源を構成する面発光レーザダイオード素子とよりなり、前記面発光レー

ザダイオード素子チップの光射出部の面積を S (mm^2)、レーザ素子動作電圧を V (V) として、 V/S を 1 5 0 0 0 ~ 3 0 0 0 0 の範囲にしたことを特徴とする光通信システムにより、解決する。

【0 0 4 7】

本発明によれば、コンピュータ・ネットワークや長距離大容量通信の幹線系など、光ファイバ通信に適した 1.1 ~ 1.7 μm 帯域の波長において発振し、動作電圧、発振閾値電流等が低く、発熱が小さく、安定した発振を行うことができる面発光レーザダイオードが従来は存在しなかったが、本発明によれば、半導体分布ブラッグ反射鏡を工夫することにより、上記波長域でレーザ発振し、動作電圧および発振閾値電流等を低減でき、レーザ素子の発熱も低減でき、安定した発振を行う面発光レーザダイオードが実現され、このような面発光レーザダイオードを使うことにより、低い費用で実用的な 2 地点間光送受信システムを実現することが可能になった。

【0 0 4 8】

さらに、このような 2 地点間光送受信システムを構築するにあたり、本実施例では伝送路の方向変換を、光ファイバを局所的な角度が形成されないように曲げて行っているので、光ファイバを破損することなく、容易かつ安い費用で 2 地点間を接続する光送受信システムが実現できる。

【0 0 4 9】

【発明の実施の形態】

〔第 1 実施例〕

最初に本発明の光通信システムに適用される発光素子であり、伝送損失の少ない 1.1 ~ 1.7 μm の波長で発振する長波長面発光レーザダイオードの一例を、図 1 を参照しながら説明する。

【0 0 5 0】

前述のように、従来は本発明が適用しようとしている 1.1 ~ 1.7 μm の波長で発振する長波長面発光レーザダイオードに関しては、その可能性の示唆があるのみで、実現のための材料や具体的で詳細な構成は不明であった。

【0 0 5 1】

これに対し、本発明では、活性層としてGaInNAs等の材料を使用した長波長面発光レーザダイオードの明確で具体的な構成を提供する。

【0052】

本発明では、面方位(100)のn-GaAs基板11上に、それぞれの媒質内における発振波長 λ の1/4倍の厚さ($\lambda/4$ の厚さ)で組成が $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($x=1.0$)で表されるn型AlGaAsよりなる低屈折率層と、組成が $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ ($y=0$)で表されるn型AlGaAsよりなる高屈折率層とを交互に35周期積層したn型半導体分布ブラッグ反射鏡(AlAs/GaAs下部半導体分布ブラッグ反射鏡)12を形成し、その上に前記 $\lambda/4$ の厚さで組成が $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$ ($x=0.5, y=1$)で表されるn型GaInPAs層13を積層した。この例では前記n型 $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$ ($x=0.5, y=1$)層13も下部反射鏡を構成する低屈折率層の一つとなっている。

【0053】

前記GaInPAs層13上にはアンドープGaAsよりなる下部スペーサ層14が形成され、前記下部スペーサ層14上には、組成が $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}$ で表される量子井戸層15aを、厚さが20nmのGaAsバリア層15bを介して3回積層した多重量子井戸構造を有する活性層15が形成され、前記活性層15上にはアンドープGaAsよりなる上部スペーサ層16が積層され、前記活性層15は、上下のスペーサ層14、16と共に、媒質内における発振波長 λ の1波長分の厚さ(λ の厚さ)の共振器15Rを形成する。前記共振器15Rは、面発光レーザダイオードの活性領域を構成する。

【0054】

図1の構成ではさらに前記スペーサ層16上に、C(炭素)をドーピングされた組成が $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$ ($x=0.5, y=1$)で表されるp型GaInPAs層17が形成され、さらに前記p型GaInPAs層17上にはZnをドーピングされ組成が $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($x=0$)で表されるGaAs層とZnをドーピングされ組成が $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($x=1.0$)で表されるAlAs層とをそれぞれの媒質内における発振波長 λ の1/4倍の厚さで交互に積層し

た周期構造（1周期）を積層し、その上には、Cでドーピングされ組成が $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ （ $x=0.9$ ）で表されるp型 AlGaAs 層と、Znでドーピングされ組成が $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ （ $x=0$ ）で表されるp型 GaAs とを、それぞれの媒質内における発振波長 λ の $1/4$ 倍の厚さで交互に積層した周期構造（25周期）を有する半導体分布ブラッグ反射鏡18が形成されている。この例では、前記p型 GaInPAs 層17も上部反射鏡の一部であり、低屈折率層の一つを構成している。

【0055】

図2は、 AlAs/GaAs 構造単位を24ペア積層して形成した反射鏡の反射スペクトルを示す。図2の例では、 AlAs 層の厚さを93.8nmに、 GaAs 層の厚さを79.3nmに設定しているが、これらはいずれも、それぞれの層中における、真空中での波長が $1.1\mu\text{m}$ の光の $1/4n$ 波長に対応している。ただし、 n は前記 AlAs 層あるいは GaAs 層中における屈折率を示す。このように、分布ブラッグ反射鏡の各層の厚さをある波長 λ の $1/4n$ 倍とすることにより、前記波長 λ 近傍の広い帯域において、高い反射率を実現できる。本発明では、前記 λ を設計反射波長とよぶ。

【0056】

ここで、分布ブラッグ反射鏡の半導体材料の例として、 AlGaAs 系半導体材料を示した理由は、特にこの材料系が分布ブラッグ反射鏡の材料として次のような点で優れた性質を有しているからである。すなわち、 AlGaAs 系半導体材料は、安価に且つ容易に入手な GaAs 基板上に略格子整合して結晶成長が可能であり、他の半導体材料系に比べて優れた放熱性を有している。また、混晶を形成する元になる2元材料の GaAs と AlAs との間の屈折率差が、例えば $1.3\mu\text{m}$ 帯において0.5程度と大きく、他の半導体材料系に比べて少ない積層ペア数で高い反射率を得ることができる。

【0057】

図3は、前記上部反射鏡18あるいは下部反射鏡12を構成する分布ブラッグ反射光の構成を示す。

【0058】

図 3 を参照する。

【 0 0 5 9 】

本実施例では前記上部反射鏡 1 8 および下部反射鏡 1 2 のいずれもが、低屈折率層 1 8 a と高屈折率層 1 8 b とを交互に積層した構成を有するが、本発明では、これらの間に、図 3 に示すように、屈折率が低屈折率層 1 8 a と高屈折率層 1 8 b との間の値をとる $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$ ($0 \leq y < z < x \leq 1$) よりなるヘテロスパイク緩衝層 1 8 c を設けている。

【 0 0 6 0 】

以下、図 3 を参照しながら、本発明に適用される面発光レーザダイオードの反射波長が $1.1 \mu\text{m}$ 以上の反射鏡の構成についてより具体的に説明する。

【 0 0 6 1 】

図 3 は前記半導体分布ブラッグ反射鏡 1 8 の一部を示したものである。ただし、同様な構成は半導体分布ブラッグ反射鏡 1 2 についても形成されるが、半導体分布ブラッグ反射鏡 1 2 の構成は前記半導体分布ブラッグ反射鏡 1 8 の構成と実質的に同じであり、説明を省略する。

【 0 0 6 2 】

図 3 を参照するに、本発明に適用される反射波長が $1.1 \mu\text{m}$ 以上の反射鏡では、低屈折率層 1 8 a と高屈折率層 1 8 b の間に、屈折率が前記低屈折率層 1 8 a と高屈折率層 1 8 b の中間の値をとるヘテロスパイク緩衝層 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$ ($0 \leq y < z < x \leq 1$) 1 8 c を設けている。

【 0 0 6 3 】

従来レーザ波長が $0.85 \mu\text{m}$ 帯のレーザダイオードに関して、このようなヘテロスパイク緩衝層を設けることも検討はされているが、まだ検討段階であり、その材料や厚さなどは、詳細には検討されていない。また本発明のようなレーザ発振波長が $1.1 \sim 1.7 \mu\text{m}$ の長波長面発光レーザダイオードに関してこのようなヘテロスパイク緩衝層を設ける提案は、全くなされていない。これは、発振波長が $1.1 \sim 1.7 \mu\text{m}$ 帯域の長波長面発光レーザダイオードが新しい分野であり、まだほとんど研究が進んでいないからであると考えられる。

【 0 0 6 4 】

本発明者は、いち早くこの分野、すなわち発振波長が $1.1 \sim 1.7 \mu\text{m}$ 帯域の長波長面発光レーザダイオードおよびそれを用いた光通信技術)の有用性に気付き、それを実現するために鋭意検討を行った。

【0065】

このようなヘテロスパイク緩衝層18cは、半導体分布ブラッグ反射鏡12あるいは18の形成時に、とくにMOCVD法を使う場合に原料ガス流量をコントロールするなどして、前記ヘテロスパイク緩衝層18cを構成するAlGaAs膜中のAl組成を連続的もしくは段階的に変化させる。これに伴い、膜の屈折率も、連続的もしくは段階的に変化する。

【0066】

より具体的には、前記AlGaAs膜18cの形成時に、 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$ ($0 \leq y < z < x \leq 1$) 層中の組成パラメータ z の値が0から1.0まで変化するように、すなわち膜組成が $\text{GaAs} \rightarrow \text{AlGaAs} \rightarrow \text{AlAs}$ と徐々に変化するように、GaとAlの供給速度を変化させる。このような供給速度の変化は、前述のように膜12cの形成時にガス流量をコントロールすることによって作成される。その際、AlとGaの比率を前述のように連続的に変化させることでも、また段階的に変化させることでも、同等の効果が得られる。

【0067】

このようなヘテロスパイク緩衝層を設ける理由は、半導体分布ブラッグ反射鏡の持つ問題点の一つである、特にp型半導体分布ブラッグ反射鏡18において電気抵抗が増大しやすい課題を解決するためである。この電気抵抗の増大は、半導体分布ブラッグ反射鏡を構成する2種類の半導体層の界面に生じるヘテロ障壁が原因であるが、本発明のように低屈折率層と高屈折率層の界面に一方の組成から他方の組成へ次第にAl組成が変化するようにして、屈折率も変化させることによってヘテロ障壁の発生を抑制することが可能である。

【0068】

このようなヘテロスパイク緩衝層について、図4を参照しながらより具体的に説明する。

【0069】

図4は、半導体分布ブラッグ反射鏡を構成する2種類の半導体層18a, 18bの間にヘテロスパイク緩衝層18cを設けた半導体分布ブラッグ反射鏡18の例を示す。図4は、半導体分布ブラッグ反射鏡の材料の例としてAlGaAs系半導体材料($\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$ ($0 \leq y < z < x \leq 1$))を使った場合について示している。

【0070】

図4の半導体分布ブラッグ反射鏡18を構成する2種類の半導体層18a, 18bはAlAsおよびGaAsであり、AlAs, GaAsの中間の価電子帯エネルギーを持つヘテロスパイク緩衝層として、これの間にAl組成を変化させた組成傾斜層を設けている。すなわち、 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$ ($0 \leq y < z < x \leq 1$)層のzの値を0から1.0まで変わるように、すなわちGaAs→AlGaAs→AlAsと、AlとGaの比率を徐々に変化させている。

【0071】

AlGaAs系半導体材料では、Al組成の増加に伴いバンドギャップエネルギーが増大し、屈折率が低下する。またこの際、伝導帯ではAl組成xが0.43に達するまでエネルギーが増加した後、減少を始めるが、価電子帯では単調に、前記Al組成xの増加量に略比例して、価電子帯エネルギーが低下する。全体トータルとしては、バンドギャップエネルギーは組成に対して増加している。

【0072】

AlGaInP系4元材料の場合には、AlInP組成の増加に伴い、AlGaAs系におけるAl組成の増加と同様の傾向を示す。伝導帯エネルギーは、AlInP組成0.7まで増加した後減少を始める。しかし価電子帯エネルギーは、AlInP組成の増加に対し同様に単調に減少する。

【0073】

図4の例では、GaAs層の近くの領域での(図4では、領域I)組成傾斜率(バンドギャップエネルギーの増加率)を、AlAs層の近くの領域(図4では領域II)での組成傾斜率に比べて大きく設定している。比較のために、単に線形にAl組成を変化させた線形組成傾斜層をヘテロスパイク緩衝層18cとした構造を図5に示す。

【 0 0 7 4 】

図 6 は、反射波長 $1.3 \mu\text{m}$ の AlAs 層 18a と GaAs 層 18b との間の界面に厚さが 20 nm のヘテロスパイク緩衝層を設け、前記 AlAs 層 18a と GaAs 層 18b の積層を 4 回繰り返した場合（4 対の積層）の p 型分布ブラッグ反射鏡 18 の電気抵抗を見積った結果である。

【 0 0 7 5 】

図 6 では、ヘテロスパイク緩衝層を含む分布ブラッグ反射鏡 18 の各層 18a ～ 18c のキャリア密度を $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の p 型としており、縦軸にゼロバイアス付近における微分シート抵抗値を示している。一方、図 6 中横軸は領域 I の Al 組成傾斜率を示し、前記領域 I の厚さを様々に変化させた場合について示している。ただし前記領域 I と前記領域 II の和は常に 20 nm であり、領域 II の厚さ及び組成傾斜率は、領域 I の厚さと組成傾斜率から決まる。単純に GaAs 層と AlAs 層間に線形組成傾斜層を設けた場合の Al 組成傾斜率は 0.05 nm^{-1} であり、これは図の A 点に当たる。

【 0 0 7 6 】

図 6 より、領域 I の Al 組成傾斜度を大きくしていくことにより、図 5 のように単に組成傾斜率を線形とした場合に比べ、抵抗値をより低減できることがわかる。また、極小となる最適な Al 組成傾斜率が存在していることが分かる。例えば領域 I の厚さが 10 nm （領域 II と同じ厚さ）では、Al 組成傾斜率 0.09 nm^{-1} において、従来の 80% 程度まで抵抗が低減している（また、この傾向は印加電圧に依存しない。）

次にこの理由について説明する。

【 0 0 7 7 】

図 7 は、 AlAs/GaAs 構造を有する分布ブラッグ反射鏡におけるヘテロ界面近傍の熱平衡状態におけるバンド構造を示す。

【 0 0 7 8 】

図 7 を参照するに、バンド不連続に起因するヘテロスパイクは主に禁則帯幅の広い AlAs 層側で顕著に現れており、 GaAs 層側ではノッチの発生はわずかなである。このような GaAs 層側に発生するノッチは高抵抗化の原因とはならな

いので、主に AlAs 層側に発生するスパイクを、限られたヘテロスパイク緩衝層の厚さで効率良く平坦化することが、分布ブラッグ反射鏡の抵抗低減にとって重要である。

【0079】

図4の構造では、ノッチが発生する GaAs 側で急激に組成を増加させており、これはスパイクが発生する AlAs 側の組成傾斜を緩やかに変化させたことに対応している。これによって、ヘテロスパイク緩衝層の組成変化を単純に線形とした場合に比べて、スパイクの発生を低減させる事ができる。逆に、領域Ⅰの Al 組成傾斜率を、領域Ⅱよりも小さくすると、抵抗値はかえって増加する。

【0080】

図8は、図4、5の構造の、熱平衡状態におけるバンド構造を概略的に示す。

【0081】

図8を参照するに、図3の組成傾斜プロファイルを採用することにより、図5に示す単純な組成傾斜層を使った場合に比べ、同じ厚さで AlAs 側の組成傾斜率を緩やかにすることができ。以上より、領域Ⅰの組成傾斜率を大きくすることで、従来よりも電気抵抗を低減することができることがわかる。

【0082】

図4では、Al 組成は線形に変化されており、ヘテロスパイク緩衝層 18c は領域ⅠおよびⅡより構成されているとみなすことができるが、図9に示すように、Al 組成を非線形に変化させることも可能である。このような場合には、領域ⅠおよびⅡの境界は、図9に示すように、前記ヘテロスパイク緩衝層 18c と GaAs 層 18b との境界における価電子帯への接線と、前記ヘテロスパイク緩衝層 18c と AlAs 層 18a との境界における価電子帯への接線との交点により定義することができる。

【0083】

また前記ヘテロスパイク緩衝層 18c において Al 組成は連続的に変化する必要はなく、また図10に示すように、領域Ⅰと領域Ⅱとの間に別の領域が介在してもよい。

【0084】

ところで、図 6 によれば、ブラッグ反射鏡の微分シート抵抗は、領域 I の厚さが減少するにつれて減少している。最も微分シート抵抗の値が減少するのは、図 1 1 に示すように前記領域 I を設けない場合、あるいは図 1 2 に示すように領域 I の厚さが十分に小さく、GaAs 層 1 8 b (ナローバンドギャップ層) とヘテロスパイクバッファ層 1 8 c (ワイドバンドギャップ層) との間に価電子帯エネルギーの不連続が生じている、あるいは生じているとみなせるような場合であることがわかる。

【 0 0 8 5 】

図 1 3 は、図 6 と同様な分布ブラッグ反射鏡の微分シート抵抗を、領域 I I における A 1 組成傾斜率の関数として示す。ただし領域 I I における A 1 組成傾斜率は、ヘテロスパイク緩衝層 1 8 c の厚さ、領域 I の厚さおよび領域 I における A 1 組成傾斜率から一意的に決定される。

【 0 0 8 6 】

図 1 3 より、領域 I, I I の厚さに関わらず、領域 I I 中における特定の組成傾斜率の場合に、微分シート抵抗が最小になることがわかる。

【 0 0 8 7 】

また図 1 4 は、図 1 3 と同様な関係を、領域 I と領域 I I の和が 4 0 n m である場合について示したものであるが、図 1 3 と同様な極小値が、特定の A 1 組成傾斜率において生じることがわかる。

【 0 0 8 8 】

図 1 3 あるいは図 1 4 から、ヘテロスパイク緩衝層を有する分布ブラッグ反射鏡において、反射鏡を構成するナローギャップ層 (図 3 の場合は GaAs 層 1 8 b) とヘテロスパイク緩衝層 1 8 c との間の、最適な価電子帯エネルギーの不連続量を求めることができる。

【 0 0 8 9 】

以上より、ヘテロスパイク緩衝層を有する半導体分布ブラッグ反射鏡では、ナローギャップ層 1 8 b とヘテロスパイクバッファ層 1 8 c との間において価電子帯エネルギーが不連続になる、あるいは不連続とみなせるように領域 I における A 1 組成を急激に変化させることにより、また領域 I I における A 1 組成傾斜率を

最適化することにより、抵抗率を最小化することができる。例えば、厚さが 20 nm のヘテロスパイク緩衝層中における領域 I の厚さを 1 nm とすることにより、同じ厚さを有し、Al 組成が線形に変化するヘテロスパイク緩衝層を有する分布ブラッグ反射鏡に対して、抵抗値を 75 % も低減することが可能である。

【0090】

さらに、このような場合でもヘテロスパイク緩衝層 18 c 中における Al 組成の変化は直線的である必要はなく、図 15 に示すように非線形であってもよい。

【0091】

なお、以上の考察は、AlGaAs 系の分布ブラッグ反射鏡に限られるものではなく、他の材料系、例えば AlGaInP 系の材料よりなる分布ブラッグ反射鏡についても当てはまる。AlGaInP 系の分布ブラッグ反射鏡では、ヘテロスパイク緩衝層中において AlInP 組成を変化させることで同様な効果を得ることができる。

【0092】

次に、このようなヘテロスパイク緩衝層 $Al_z Ga_{1-z} As$ ($0 \leq y < z < x \leq 1$) の最適厚さについて検討する。

【0093】

図 16 は、図 5 に示す線形組成傾斜ヘテロスパイク緩衝層 18 c を有する分布ブラッグ反射鏡について、0.88 μm 帯と 1.3 μm 帯における反射率と層 18 c との関係を示す。ここで、反射鏡の設計反射波長を従来と同じ 0.88 μm としたのは、それぞれの帯域で同じ反射鏡を構成することにより、特性比較を行うためである。GaAs は 0.87 μm よりも短波の光を吸収してしまう。図 16 では、高屈折率層に GaAs 層を用い、低屈折率層に AlAs 層を用いている。

それぞれの波長帯で、反射率値が 99.9 % を超える積層ペア数は、0.88 μm 帯が 18 ペア以上、1.3 μm 帯が 23 ペア以上であり、図 16 には前述のペア数を有し、それぞれの帯域にチューニングされた分布ブラッグ反射鏡についての組成傾斜層の厚さと反射率との関係が示されている。

【 0 0 9 4 】

表 1 は、図 1 6 の反射率値を示す。

【 0 0 9 5 】

【表 1】

	0nm	5nm	10nm
0.88 μ m 帯	99.914	99.912	99.905
1.3 μ m 帯	99.923	99.923	99.920

このように、1.3 μ m 帯では組成傾斜層 18 c の厚さ 5 nm までは、殆ど反射率の低下は見られない。しかし、0.88 μ m 帯では、組成傾斜層 18 c の厚さが 5 nm に達したあたりから反射率値の低下が見られ始める。面発光レーザ素子は共振器長が短く、ミラーによる反射損失の影響が非常に大きいので、僅かな反射率値の低下であっても閾値電流値に大きな影響が及ぶ。

【 0 0 9 6 】

図 1 7, 1 8 は、図 5 と同様の線形組成傾斜層ヘテロスパイク緩衝層 18 c を有する、1.3 μ m の反射波長にチューニングされた AlAs/GaAs 分布ブラッグ反射鏡の、ゼロバイアス付近における抵抗率 (dV/dJ : 電圧 V [V] の電流密度 J [A/cm^2] による微分と定義) [Ωcm^2] を示す。但し、図示の例では、積層ペア数は 4 ペアである。なお、図 1 7 は対数表示、図 1 8 は線形表示である。図 1 7, 図 1 8 において、破線は、バンド不連続の影響を考慮しないでバルクの抵抗値から見積もった抵抗率を示している。分布ブラッグ反射鏡の p 型ドーピング密度は、それぞれの層に対し $1 \times 10^{18} [cm^{-3}]$ としている。

【 0 0 9 7 】

図 1 7 では組成傾斜層 18 c の厚さと共に抵抗率が低減する様子が示されているが、1.3 μ m 帯では組成傾斜層 18 c の相対的な割合が小さいので、表 1 及び図 1 7 のように、組成傾斜層の厚さが 5 nm であれば反射率へ殆ど影響を及ぼすことなく、電気抵抗を 2 桁程度低減することが可能である。反射波長が更に長

い場合には、より厚い組成傾斜層を設けることができるので、反射率に影響を与えることなく抵抗低減を行うことができる。しかし、これより薄い場合は図17よりわかるように抵抗低減効果が殆ど得られないので、組成傾斜層としては不十分である。

【0098】

図17に示すように、組成傾斜層18cを設けない分布ブラッグ反射鏡（組成傾斜層の厚さが0nm）では、抵抗率が $1\Omega\text{cm}^2$ と非常に高く、現実的な問題として、例えば面発光レーザ素子の反射鏡ミラーとして用いた場合に、20ペア以上積層した分布ブラッグ反射鏡を介してレーザダイオードを駆動することは困難である。また、非常に高い駆動電圧が必要となる。従って、このような分布ブラッグ反射鏡を、面発光レーザ素子等の電流駆動光素子に応用することは困難である。

【0099】

しかしながら、上述のように5nmの厚さの組成傾斜層を設けた場合には、組成傾斜層を設けない場合に比べて電気抵抗率を約2桁程度低減する。その結果レーザダイオードへの通電が容易になり、レーザ発振が可能となる。また通電に必要な電圧も低減するので、素子の破壊、故障等の、信頼性に関する諸問題も大きく改善する。さらに表1に示す様に、反射率の低下は殆ど無いので、低い閾値電流密度で発振を得ることが可能となる。

【0100】

このように、この5nmという厚さは、長波長帯域で反射特性に影響を与えないで低抵抗化が行える組成傾斜層厚さの下限と考えることができる。従って、ヘテロスパイク緩衝層18cの厚さは5nm以上とすることが適切である。

【0101】

組成傾斜層の厚さをさらに増加させると抵抗率は急激に低減し、これに伴って素子の動作電圧および素子発熱も減少する。従って、発振を維持できる温度、及び得られる出力が増加する。

【0102】

例えば、99.8%を反射率の許容値とする場合、 $0.88\mu\text{m}$ 帯域にチュー

ニングされた分布ブラッグ反射鏡では設けることのできる組成傾斜層の厚さは 20 nm に限られる。これに対し、1.3 μ m 帯域にチューニングされた分布ブラッグ反射鏡では、組成傾斜層の厚さを 50 nm の厚さにすることができる。

【0103】

ところで、図 6 に示すように分布ブラッグ反射鏡の抵抗値は、ヘテロ緩衝層 18 c の厚さが 50 nm までは、層 18 c の厚さと共に効果的に減少し、層 18 c の厚さが 50 nm で抵抗率がバルク抵抗率の 1.05 倍程度となるが、これ以上ヘテロ緩衝層 18 c の厚さを増大させても抵抗率は飽和傾向を示しはじめる。

【0104】

ところが、分布ブラッグ反射鏡の反射率は、前記ヘテロスパイク緩衝層 18 c の厚が増すにつれて急激に低下を始め、50 nm 以上では 99.8% 以下にまで低下してしまう。従って、これら両方の特性を同時に良好に満たすヘテロスパイク緩衝層 18 c の厚さとして、50 nm 以内が実用上の意味を持つと考えられる。

【0105】

図 19 は、この反射率の減少の様子を詳しく示す。ただし図 19 は、ヘテロスパイク緩衝層 18 c の厚さ t に対する反射率 R の変化 ($|dR/dt|$) を示す。

【0106】

図 19 に示した接線と比較すると、ヘテロスパイク緩衝層の厚さが 50 nm を超えたあたりから、急激に反射率が変化する様子が分かる。レーザダイオードの発振閾値電流は、これに対応して急激に増加し始める。

【0107】

以上のように、例えば、5 nm 以上、50 nm 以下の厚さのヘテロスパイク緩衝層を設けた設計反射波長 1.3 μ m の分布ブラッグ反射鏡では、ヘテロ界面の影響による抵抗を有効に低減することが可能であり、また、高い反射率を同時に得ることができる。これを用いた面発光レーザ素子では、現実的な駆動条件において、容易に低閾値電流での発振を得ることが可能である。

【0108】

また、例えば、面発光レーザの高出力化には、光出力側のミラー反射率を小さく設定し、光出力を得やすく設計する必要がある。また、高出力（高注入領域）まで、安定に発振させるためには、素子発熱を抑えて、熱による出力飽和点を出来るだけ高く設定する必要がある。50nmのように比較的厚い材料層（本例ではヘテロスパイク緩衝層）を設けた分布ブラッグ反射鏡は、これらの条件を満たしているので、高出力用途に適している。

【0109】

このように、本実施例の長波長面発行レーザダイオードでは、ヘテロスパイク緩衝層18cの厚さを5nm～50nmの範囲で、目的に応じて適切に選ぶことで、反射鏡の反射特性および電気特性を最適化することができる。

【0110】

なお、上述の図3の例では、低屈折率層18aをAlAs層、高屈折率層18bをGaAs層としたが、Al組成の異なる2種類のAlGaAs層を使うこともできる。ただし、分布ブラッグ反射鏡では、反射鏡を構成する低屈折率層と高屈折率層の間の屈折率差が大きい程、少ない積層ペア数で高い反射率を得ることができるので、高い反射率を得るためには、前記低屈折率層と高屈折率層とで、Al組成の違いを可能な限り大きくするのが好ましい。図3の構造は、AlAsとGaAsによる最も屈折率差が大きくなる組合わせを示したものである。

【0111】

ところで、このようなAl組成の違いが大きな組合わせでは、先にも説明したように、ヘテロスパイクの原因となる価電子帯バンド不連続量も大きくなるので、良好な反射特性が得られる反面、素子抵抗の増大を招きやすいという問題がある。特に高屈折率層と低屈折率層との間にこのような大きな屈折率差を実現できる場合は、価電子帯バンド不連続量も大きいので、反射鏡の低抵抗低減のためには、十分な厚さのヘテロスパイク緩衝層を設けることが必要となる。しかし、従来の0.85μm帯域にチューニングされた分布ブラッグ反射鏡では、これが困難であった。これに対し、本発明の分布ブラッグ反射鏡では、GaAs/AlAs系のような材料を用いた場合でも、高い反射率と低い抵抗値とを同時に得ることができる。

【0 1 1 2】

なお、図 3 の分布ブラッグ反射鏡において、特に反射鏡が $1.1 \mu\text{m}$ 以上の長波長帯域にチューニングされている場合に、ヘテロスパイク緩衝層 1 8 c の厚さを 20 nm 以上、 50 nm 以下の範囲に設定することが可能である。

【0 1 1 3】

ところで図 1 7 を詳細に見ると、分布ブラッグ反射鏡の抵抗率は、初めはヘテロスパイク緩衝層 1 8 c の厚さの増加とともに急激に低減し、やがてバルク抵抗率に次第に漸近していく様子が分かる。図 1 7 の例では、抵抗率の減少が飽和し始める組成傾斜層の厚さは約 20 nm である。ヘテロスパイク緩衝層 1 8 c の厚さが 20 nm の場合、抵抗率はバルク抵抗値のおおよそ 2 倍程度まで低減されている。従って、このように組成傾斜層の厚さを 20 nm 以上、 50 nm 以下の範囲とすることによって、ほぼバルク程度に抵抗率が低減された分布ブラッグ反射鏡を得ることができる。

【0 1 1 4】

図 2 0 は本発明の別の分布ブラッグ反射鏡の構成例を示すバンド構造図である。

【0 1 1 5】

図 2 0 の例では、図 3 の構成の分布ブラッグ反射鏡において、高屈折率層 1 8 b として GaAs 層が使われ、低屈折率層 1 8 a として $\text{Al}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{As}$ 層が用いられ、さらにヘテロスパイク緩衝層 1 8 c として、厚さが 30 nm の組成傾斜層が用いられる。図 2 0 の例では、組成傾斜層は、価電子帯エネルギーが厚さと共に放物線的に変化する、放物線形状組成傾斜層（例えば AlGaAs 放物線形状組成傾斜層）として形成されている。すなわち、前記放物線形状組成傾斜層は、価電子帯側エネルギーが禁則帯幅の広い $\text{Al}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{As}$ 層に向けて、下に凸となるように変化する。

【0 1 1 6】

図 2 0 の構成において、分布ブラッグ反射鏡の設計反射波長 (λ)、すなわちチューニング波長は $1.5 \mu\text{m}$ であり、波長 $1.5 \mu\text{m}$ に対する $\text{Al}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{As}$ 層および GaAs 層の $\lambda/4n$ (実効波長) および厚さは、それぞれ、 11

0.8 nm および 125.5 nm である。ここで、 n は、波長 $1.5 \mu\text{m}$ に対する、夫々の半導体層の屈折率である。図 20 の分布ブラッグ反射鏡では各半導体層の厚さを、各半導体層が、上述の放物線形状組成傾斜層 18 c (厚さ 50 nm) の光学長を減じた光学的厚さ有するように、調整している。また、ここで、低屈折率層を例えば $\text{Al}_{0.6}\text{Ga}_{0.4}\text{As}$ 層とすると、後述の実施例に相当するものとなる。この場合、 $1.5 \mu\text{m}$ に対する $\text{Al}_{0.6}\text{Ga}_{0.4}\text{As}$ 層の $\lambda/4n$ 厚さは 121.7 nm である。

【0117】

また、分布ブラッグ反射鏡を構成する各半導体層は、 $\text{Al}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{As}$ 層、 GaAs 層、放物線形状組成傾斜層のそれぞれが $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ のキャリア密度を有するように、一様に p 型ドーピングがなされている。

【0118】

図 20 の実施例では、分布ブラッグ反射鏡のドーピング密度は $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ と従来の分布ブラッグ反射鏡と比べ低い値としたが、比較的厚い、50 nm の組成傾斜層をヘテロスパイク緩衝層 18 c として設けたことにより、抵抗値は略バルク層の抵抗値程度まで減少されている。また、ドーピング密度を低く設定したことによって、価電子帯間による光吸収も少なく、吸収損失の少ない分布ブラッグ反射鏡を得ることができる。また設計反射波長が $1.5 \mu\text{m}$ と従来の $0.85 \mu\text{m}$ 帯の分布ブラッグ反射鏡に比べ非常に長波であるので、反射率を高く保ったまま容易に 50 nm と非常に厚い放物線形状組成傾斜層を設けることができる。この結果、光学特性も良好なものとなる。以上のように、従来に比べて低抵抗で高反射率な分布ブラッグ反射鏡を得ることができる。

【0119】

図 20 の実施例ではヘテロスパイク緩衝層 18 c として、放物線形状組成傾斜層を用いたが、層 18 c は、他のものであっても良い。また、分布ブラッグ反射鏡の設計反射波長も、 $1.5 \mu\text{m}$ 以外であって良いし、低屈折率層の Al 組成も他の値であって良い。また、半導体層毎に、異なったドーピング密度としても良い。

【0120】

本実施例では、設計反射波長が $1.1 \mu\text{m}$ 以上の長波長帯分布ブラッグ反射鏡において、このようにヘテロスパイク緩衝層 18c の厚さを、 30 nm 乃至 50 nm としている。図 17 のように層 18c の厚さを増していくと、分布ブラッグ反射鏡の抵抗率はある厚さまでは急激に低減する。この急激な抵抗率の減少が見られる組成傾斜層の厚さは、分布ブラッグ反射鏡のドーピング密度にも関係している。

【0121】

例えば、図 21 は図 20 の AlAs/GaAs 分布ブラッグ反射鏡において、各層のドーピング濃度を $7 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ とした場合を示す。

【0122】

図 21 のようにドーピング密度が低い場合には、ヘテロスパイク緩衝層 18c の抵抗率が急激に減少する範囲が 30 nm 程度と大きくなっており、これを超えるとバルク抵抗率の値へと直線的に変化している。特に、p 型分布ブラッグ反射鏡では、自由キャリア吸収に加えて、価電子帯間の光吸収により、正孔密度（ドーピング密度）が高くなると光吸収が増加し、レーザダイオードに適用した場合、発振閾値電流の増加等の原因となる。このため、光学特性的にはキャリア密度が低い方が好ましい。また、価電子帯間吸収は長波長の光に対して顕著となるので、特に $1.1 \mu\text{m}$ 以上の波長帯では、吸収損失を低く抑えることが重要である。更に、従来の $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ を超えるドーピング密度を有した層を含んだ分布ブラッグ反射鏡では、吸収損失を低減させることが難しい。

【0123】

このような理由から、分布ブラッグ反射鏡を構成する第 1 の半導体層（屈折率が大）、及び第 2 の半導体層（屈折率が小）、又は材料層（組成傾斜層）のいずれか、又は全ての層のドーピング密度を、意図して低く（ $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下）とする場合がある。しかし、このようにドーピング密度を低減した分布ブラッグ反射鏡では、空欠層の広がりが大きくなることによりヘテロ界面の影響がより顕著となって、電気抵抗が増加する傾向にある。例えばこのような理由からドーピング密度をやや低めとした場合に、ヘテロ界面の影響を緩和し抵抗値を低減するには、より厚い組成傾斜層が必要であり、図 10 の結果を参照すると、特に 3

0 nm以上の厚さからその効果が顕著に現れるものである。更にドーピング密度を低減した場合には、厚さのより厚い組成傾斜層が必要となるが、40 nm, 50 nm等の上記の範囲内の厚さを有した組成傾斜層を設けることにより、ヘテロ界面の影響を効果的に低減することが可能となる。また、分布ブラッグ反射鏡を構成する層をAlAsの他にAlGaAs等とした場合にも同様のことがいえる。

【0124】

図22は、 $\text{Al}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{As}/\text{GaAs}$ の4ペア分布ブラッグ反射鏡の抵抗値を図21と同様に計算した図である。図22では、各層のドーピング密度を更に低く設定し、 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ としている。

【0125】

この場合もヘテロスパイク緩衝層18cの厚さが30 nm以上で、分布ブラッグ反射鏡の抵抗率はバルク抵抗率と同程度となることが分かる。例えば前述のような理由から、分布ブラッグ反射鏡を構成する高屈折率層18b、低屈折率層18a、およびヘテロスパイク緩衝層18c（組成傾斜層）のいずれか、又は全てのドーピング密度を従来に比べて小さく（ $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下に）設定した分布ブラッグ反射鏡では、ヘテロスパイク緩衝層18cの厚さが30 nmにおいて、分布ブラッグ反射鏡の抵抗率が飽和し始める。従って、分布ブラッグ反射鏡を構成する少なくとも一層のドーピング密度が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下であるような場合は、上述のように、厚さが30 nm乃至50 nmの範囲の組成傾斜層を用いることにより、抵抗値を効果的に低減することができる。

【0126】

もちろん、上記範囲のヘテロスパイク緩衝層18cの厚さは、ドーピング密度をこれよりも高くした分布ブラッグ反射鏡においても効果的に低抵抗化できる厚さであり、分布ブラッグ反射鏡を含む全ての層が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上にドーピングされている場合に用いられていても良い。しかし、特に、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下のドーピング密度、及び30 nm乃至50 nmのヘテロスパイク緩衝層の厚さの範囲で、これらを適切に選択することによって、吸収損失と電気抵抗との両方を同時に低減させることが可能となる。

【 0 1 2 7 】

また、この図 2 2 の実施例の分布ブラッグ反射鏡を面発光レーザ素子の反射鏡ミラーとして用いることによって、素子特性の優れた面発光レーザ素子を得ることができる。また、前述のように、30 nm 乃至 50 nm というヘテロスパイク緩衝層の厚さは、従来の $0.85 \mu\text{m}$ 帯等において用いられる分布ブラッグ反射鏡では実現することが困難であり、本発明の目的とする波長が $1.1 \mu\text{m}$ 以上の長波長帯における分布ブラッグ反射鏡において、初めて光学的特性を低下させることなく設けることが可能となるものである。

【 0 1 2 8 】

本発明分布ブラッグ反射鏡において、分布ブラッグ反射鏡を構成する低屈折率層 18 a と高屈折率層 18 b を、AlAs, GaAs, または AlGaAs 混晶で形成し、高屈折率層と低屈折率層との間の Al 組成差を 0.8 未満とすることも可能である。

【 0 1 2 9 】

このような、AlGaAs 系半導体材料によって構成された分布ブラッグ反射鏡において、高屈折率層と低屈折率層との間の Al 組成差が 0.8 未満であるような場合、 $1.1 \mu\text{m}$ よりも長波長帯に設計反射波長を有する半導体分布ブラッグ反射鏡の反射率を高く保ったまま、電気抵抗を効果的に低減することができる。

【 0 1 3 0 】

AlGaAs 混晶半導体では、Al 組成の増加に対し、価電子帯エネルギーが単調に減少し、Al 組成の大きな AlGaAs 混晶ほど GaAs 単結晶とのバンド不連続が大きく、ヘテロ界面に大きなポテンシャル障壁が形成される。これが高抵抗化の原因となっている。また、価電子帯エネルギーの減少は、Al 組成に対し略比例しており、Al 組成の異なる半導体層間のバンド不連続量は、Al 組成差に対応している。

【 0 1 3 1 】

図 2 3, 2 4 は、 $1.3 \mu\text{m}$ を設計反射波長とした 4 ペアの p 型分布ブラッグ反射鏡の抵抗率を、ヘテロスパイク緩衝層の厚さを変えて示した図である。図 2

3, 24において、分布ブラッグ反射鏡は、高屈折率層18bをGaAsとし、低屈折率層18aをAlAs, $\text{Al}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{As}$, $\text{Al}_{0.6}\text{Ga}_{0.4}\text{As}$ とした3種のものについて示した。また、各半導体層の厚さは材料の屈折率に応じて設計波長の $1/4$ 光学厚さになるようにしている。また、半導体層のドーピング密度は、全ての層に対し、図23で $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、図24で $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ としている。なお、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ というドーピング濃度は、p型分布ブラッグ反射鏡のドーピングに用いられている典型的な値である。

【0132】

図23, 24より、AlGaAs層のAl組成の大きな分布ブラッグ反射鏡ほど、ヘテロスパイク緩衝層が薄い場合に抵抗率が高く、またバルク程度の低抵抗値を実現するにも厚いヘテロスパイク緩衝層が必要であることがわかる。例えば、 $\text{Al}_{0.6}\text{Ga}_{0.4}\text{As}$ 層とGaAs層とをそれぞれ低屈折率層18aおよび高屈折率層18bとして使った分布ブラッグ反射鏡では、価電子帯でのバンド不連続が300meV程度であり、また、 $\text{Al}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{As}$ とGaAsとでは、価電子帯のバンド不連続量が400meV程度である。

【0133】

AlAsとGaAsからなる分布ブラッグ反射鏡の場合に抵抗率を効果的に低減するのに必要なヘテロスパイク緩衝層の厚さは、ドーピング密度による依存もあるが、図23, 24の結果を併せて考えると、20nm以上の厚さのヘテロスパイク緩衝層を設ければ良いことが分かる。このように分布ブラッグ反射鏡を構成する半導体材料のバンド不連続に注目して見た場合に、バンド不連続量が400meV未満、つまりAl組成差が0.8未満の場合においては、ヘテロスパイク緩衝層の厚さを20nm以上とすることで、分布ブラッグ反射鏡の抵抗率を効果的に低減できる。

【0134】

実際には、バンド不連続による分布ブラッグ反射鏡の抵抗増加は、障壁の高さおよび厚さ以外にも、キャリアである正孔の有効質量にも依存する。しかし、重い正孔の有効質量は、通常分布ブラッグ反射鏡として用いられるAlGaAs, AlGaInP, GaInAsP系材料間では、電子の有効質量ほどの大きな差

は無く、バンド不連続量がヘテロ界面の抵抗の目安と考えることができる。従って、価電子帯のバンド不連続量が400 meV未満、つまりAl組成差が0.8未満であるような場合には、厚さ20 nm以上のヘテロスパイク緩衝層を用いることによって、より効果的に電気抵抗率を低減することが可能となる。

【0135】

また、組成傾斜層の上限の厚さについては、前述したように、分布ブラッグ反射鏡の設計反射波長を考慮して、反射率の減少が顕著とならない範囲の厚さに選ぶことによって、電氣的、光学的に特性の優れた分布ブラッグ反射鏡を得ることができる。

【0136】

図3に示す構造を有する分布ブラッグ反射鏡において、分布ブラッグ反射鏡を構成する屈折率が小なる第2の半導体層と屈折率が大なる第1の半導体層は、AlAs, GaAs, またはAlGaAs混晶で形成され、屈折率が大なる第1の半導体層と屈折率が小なる第2の半導体層とのAl組成の差が0.8以上であることを特徴としている。

【0137】

この実施形態では、AlGaAs系半導体材料によって構成された分布ブラッグ反射鏡において、分布ブラッグ反射鏡を構成する低屈折率層18aと高屈折率層18bとの間でAl組成差を0.8以上とすることも可能である。この場合にも、1.1 μ mよりも長波長帯に設計反射波長を有する半導体分布ブラッグ反射鏡において、反射率を高く保ったまま、抵抗を効果的に低減することができる。

【0138】

AlAsとGaAsでは価電子帯のバンド不連続は500 meV程度であり、AlAs層とGaAs層とからなる分布ブラッグ反射鏡において抵抗率を効果的に低減するには、(ドーピング密度による依存もあるが)厚いヘテロスパイク緩衝層が必要となる。このような場合には、図23, 24の結果を併せて考えると、30 nm以上の厚さの組成傾斜層を設ければ良いことが分かる。このように分布ブラッグ反射鏡を構成する半導体材料のバンド不連続に注目して見た場合に、バンド不連続量が400 meV以上の場合には、ヘテロスパイク緩衝層の厚さを

30 nm以上とすることにより、効果的に抵抗を低減することができる。

【0139】

A1組成差と価電子帯バンド不連続量との間には、図23、24の実施例において述べた関係があり、価電子帯不連続量400 meVは、A1組成差0.8以上に対応する。従って、A1組成差が0.8以上であるような場合には、ヘテロスパイク緩衝層の厚さが30 nm以上の場合に効果的に抵抗を低減できる厚さである。この厚さの組成傾斜層を設けることによって、効果的に抵抗率を低減することが可能となる。

【0140】

また、組成傾斜層の上限の厚さについては、前述したように、分布ブラッグ反射鏡の設計反射波長を考慮して、反射率の減少が顕著とならない範囲の厚さを選ぶことにより、電氣的、光学的に特性の優れた分布ブラッグ反射鏡を得ることができる。

【0141】

本発明の分布ブラッグ反射鏡において、設計反射波長は1.1 μ mよりも長波である場合に、ヘテロスパイク緩衝層の厚さを、分布ブラッグ反射鏡の設計反射波長 λ [μ m] に対して、 $(50\lambda - 15)$ [nm] 以下と設定することも可能である。このような場合でも、前記ヘテロスパイク緩衝層は、分布ブラッグ反射鏡の反射率を高く保ったまま、抵抗を効果的に低減する機能を有している。

【0142】

図25には、設計反射波長が1.1 μ m乃至1.7 μ mの分布ブラッグ反射鏡についてヘテロスパイク緩衝層の厚さと反射率の関係が示されている。分布ブラッグ反射鏡は先に説明した図3の構造を有し、高屈折率層18bとしてGaAsが用いられ、低屈折率層18aとしてAlAs層が用いられている。また、分布ブラッグ反射鏡のペア数は、夫々の波長において反射率が始めて99.9%を超えるペア数としている。すなわち、0.88 μ mでは18ペア、1.1 μ mでは22ペア、1.3 μ mでは23ペア、1.5 μ mでは23ペア、1.7 μ mでは24ペアである。

【0143】

また、図 2 6 には、図 2 5 の反射率のヘテロスパイク緩衝層の厚さに対する変化率 ($|dR/dt|$) が示されている。図 2 5 から、ヘテロスパイク緩衝層の厚さが厚くなるに従い、反射鏡の反射率が減少していく様子が分かる。また、図 2 6 からは、反射率の減少率は、ヘテロスパイク緩衝層のある厚さを境に、急激に増加する様子が分かる。図 2 6 には、この様子を分かり易くするために、反射率変化率の傾きを直線で示している。すなわち、図 2 6 中の直線は、反射率が減少し始める厚さに対して引いた接線を表す。例えば、設計反射波長 $1.3 \mu\text{m}$ の分布ブラッグ反射鏡に注目すると、図 2 6 より、反射率の変化率はヘテロスパイク緩衝層の厚さが 50 nm を超えたところで急激に大きくなることが分かる。図 2 5 では、これに対応して、分布ブラッグ反射鏡の反射率が急激に減少を始める。従って、このような分布ブラッグ反射鏡を反射鏡とした面発光レーザ素子では、この点を境に、発振閾値電流が急激に増加する。また、図 2 6 中に示すように、この反射率の変化率が急激に増加するヘテロスパイク緩衝層の厚さは、半導体分布ブラッグ反射鏡の設計波長帯によって異なっている。つまり、より長波の設計反射波長の分布ブラッグ反射鏡ほど、反射器を構成する各半導体層の厚さが厚くなるので、ヘテロスパイク緩衝層の厚さの影響は少なくなる。

【 0 1 4 4 】

このように、この変化率が急激に増加し始めるヘテロスパイク緩衝層の厚さ（閾値厚さ）は分布ブラッグ反射鏡の設計反射波長によって異なるが、急激に増加し始める変化率の閾値は波長にあまり依存せず、図 2 6 中に示すように、およそ 0.09 程度であることが分かる。

【 0 1 4 5 】

また、図 2 5 に示した各波長に対して閾値厚さを示すと表 2 のようになる。

【 0 1 4 6 】

【表 2】

設計反射波長	$1.1 \mu\text{m}$	$1.3 \mu\text{m}$	$1.5 \mu\text{m}$	$1.7 \mu\text{m}$
閾厚さ	40nm	50nm	60nm	70nm

表 2 から、設計反射波長と閾厚さとは、略線形の関係にあり、閾厚さ t [nm] と分布ブラッグ反射鏡の設計反射波長 λ [μ m] との関係を求めると、式

$$t = 50\lambda - 15 \quad (\text{式1})$$

の関係があることが分かる。

【0147】

従って、波長 $1.1 \mu\text{m}$ 以上の設計反射波長 λ を有する分布ブラッグ反射鏡に対して、式 1 で決まる厚さ t 以下の厚さの材料層をヘテロスパイク緩衝層として設けることにより、高い反射率を保った低抵抗な分布ブラッグ反射鏡を得ることができる。なお、上述の例では、ヘテロスパイク緩衝層は線形組成傾斜層であるとしているが、先に説明した非線形なものを用いても良い。この場合においても、同様な結果、効果を得ることができる。

【0148】

本発明においては、設計反射波長が $1.1 \mu\text{m}$ よりも長波の分布ブラッグ反射鏡において、ヘテロスパイク緩衝層の厚さを 20 nm 以上とすることも可能である。この場合においても、材料層は、反射率を高く保ったまま、反射鏡の抵抗を効果的に低減することができる。

【0149】

先にも説明したように、分布ブラッグ反射鏡の反射率を高く保つことができるヘテロスパイク緩衝層と設計反射波長との間には式 1 の関係がある。

【0150】

分布ブラッグ反射鏡の電気的特性については、前述したようにヘテロスパイク緩衝層の厚さを厚くするほど、半導体ヘテロ界面の影響を低減することが可能であり、より低抵抗な分布ブラッグ反射鏡を得ることができる。また、ヘテロスパイク緩衝層による抵抗低減効果は、分布ブラッグ反射鏡の材料と、ドーピング密度、および

ビプロフィールとによって決まり、本質的に反射波長帯域には依存しない。従って、低抵抗化の効果が十分に得られる組成傾斜層には下限があり、十分に低抵抗な分布ブラッグ反射鏡を得るためには、ある厚さ以上の組成傾斜層を設ける必要

がある。

【0151】

例えば、図24のような、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の密度に一様にドーピングされた分布ブラッグ反射鏡では、ヘテロスパイク緩衝層の厚さが20 nm未満では、分布ブラッグ反射鏡の抵抗率はバルク抵抗率に対し桁違いに大きい。20 nm以上では、バルク抵抗率と同じオーダーにまで低減することが分かる。従って、上述のようなドーピング密度の場合には、ヘテロスパイク緩衝層の厚さを20 nm以上とするのが電気特性的に好ましい。

【0152】

以上の結果から、分布ブラッグ反射鏡の設計反射波長 λ [μm] に対して、ヘテロスパイク緩衝層の厚さ t [nm] を $20 \leq t \leq 50\lambda - 15$ の範囲に選ぶことにより、電氣的に十分に低抵抗で、光学的にも高い反射率を保った特性の優れた分布ブラッグ反射鏡を得ることができることがわかる。

【0153】

本発明の分布ブラッグ反射鏡において、ヘテロスパイク緩衝層の厚さを30 nm以上とすることも可能である。このような場合でも、ヘテロスパイク緩衝層は、設計反射波長が1.1 μm より長波長の分布ブラッグ反射鏡の反射率を高く保ったまま、反射鏡の抵抗を効果的に低減する機能を有している。

【0154】

半導体材料では、禁則帯幅よりもエネルギーの小さな光子に対しても、自由キャリアの増加とともに光吸収が増加する傾向があるが、加えて、p型半導体ではキャリアである正孔の増加に従い価電子帯間吸収による光吸収が顕著に生じる。また、この価電子帯間吸収は、長波になるほど増加するので、設計反射波長が1.1 μm より長波であるような分布ブラッグ反射鏡では特に問題であり、これらの光吸収は分布ブラッグ反射鏡の反射率を低減させる原因となる。更に、これを反射鏡としたレーザダイオードでは、光吸収によって閾値電流の増加、効率の低下等が生じる。従って、光吸収の低減という点においては、半導体層のドーピング密度は可能な限り低いことが好ましい。しかしながら、ドーピング密度を低減するに従ってヘテロ界面の空乏層厚さが増加するので、界面のポテンシャル障壁の

影響が大きくなり、抵抗率を増加させる原因となる。

【0155】

従って、例えば上述のような目的によってドーピング密度を低減した半導体分布ブラッグ反射鏡において、抵抗率を低減させるためには、より厚いヘテロスパイク緩衝層が必要となる。このような分布ブラッグ反射鏡として、例えば $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 程度にドーピングを行った場合には、図23の結果を見ると、ヘテロスパイク緩衝層の厚さが30nm以上で、抵抗率がバルクと同程度まで低減することが分かる。

【0156】

また、半導体層のドーピング密度、プロファイルとしては、様々な組合せが考えられ、その種類は膨大である。しかしながら、少なくとも1つの半導体層のドーピング密度が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 未満である場合には、同様な傾向が現れる。何故ならば、ヘテロ界面にできるポテンシャル障壁は、ヘテロ界面に接する半導体層のドーピング密度によりその高さ、障壁厚さが決まり、ドーピング密度が例えば $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ など、低い場合ほどヘテロ界面の影響が大きくなる。また、主にドーピング密度が低いヘテロ界面により電気的特性が決まるからである。本発明は、このように分布ブラッグ反射鏡を構成する半導体層のうち、少なくとも1つの半導体層のドーピング密度が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 未満であるようなものに対し、大きな作用、効果を生じる。

【0157】

更に、ここでは例として上述のドーピング密度の結果を示したが、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のオーダーにドーピングされた分布ブラッグ反射鏡では、これと略同様の結果を示す。勿論、ドーピング密度はこれよりも更に低い範囲であっても良く、その場合にはヘテロスパイク緩衝層の厚さを上記上限の範囲内で30nm以上とすることで、同様に低抵抗化を行うことができる。

【0158】

以上のように、分布ブラッグ反射鏡の設計反射波長 λ [μm] に対して、材料（組成傾斜層）の厚さ t [nm] を $30 \leq t \leq 50\lambda - 15$ の範囲に選ぶことにより、電氣的に十分に低抵抗で、光学的にも高い反射率を保った特性の優れた分

布ブラッグ反射鏡を得ることができる。

【0159】

なお、前述のように従来の波長が $0.85\mu\text{m}$ 帯のレーザダイオードに関してこのようなヘテロスパイク緩衝層を設けることも検討されているが、本発明のようなレーザ発振波長が $1.1\sim 1.7\mu\text{m}$ の長波長面発光レーザダイオードの場合はより効果的である。なぜなら、例えば同等の反射率（例えば99.5%以上）を得るためには、 $0.85\mu\text{m}$ 帯よりも $1.1\sim 1.7\mu\text{m}$ 帯の場合、このような材料層の厚さを約2倍程度にすることができるので、半導体分布ブラッグ反射鏡の抵抗値を低減させることができる。その結果、動作電圧、発振閾値電流等が低くなり、レーザ素子の発熱防止ならびに安定発振、さらに低エネルギー駆動の面で利点を得られる。

【0160】

このように、半導体分布ブラッグ反射鏡にこのようなヘテロスパイク緩衝層を設けることは、本発明のようなレーザ発振波長が $1.1\sim 1.7\mu\text{m}$ の長波長面発光レーザダイオードの場合に特に効果的な工夫といえる。

【0161】

なお効果的な反射率を得るためのより詳細な検討結果の一例を挙げると、例えば $1.3\mu\text{m}$ 帯面発光型レーザ素子では、低屈折率層として $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($x=1.0$) を、また高屈折率層として $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ ($y=0$) を20周期積層した場合、半導体分布ブラッグ反射鏡の反射率が99.7%以下となる $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$ ($0\leq y<z<x\leq 1$) 層の厚さは30nmである。また、反射率が99.5%以上となるヘテロスパイク緩衝層の厚さは53nmである。従って反射率を99.5%以上と設計した場合、 $\pm 2\%$ の膜厚制御ができれば十分である。そこでこれと同等およびこれより薄い、膜厚が10nm、20nmおよび30nmのものを試作したところ、反射率を実用上問題のない程度に保つことができ、これにより、半導体分布ブラッグ反射鏡の抵抗値を低減した $1.3\mu\text{m}$ 帯面発光型レーザ素子を実現でき、またレーザ発振にも成功した。なお試作したレーザ素子の他の構成は後述のとおりである。

なお多層膜反射鏡においては設計波長（膜厚制御が完全にできたとして）を含

んで反射率の高い帯域が存在する。これは高反射率帯域（反射率が目標の波長に対して必要値以上である領域を含む）と呼ばれる。高反射率帯域では設計波長で反射率が最も高く、波長が離れるに従って、反射率のごくわずかなずつ低下する。ある領域を超えると、反射率は急激に低下する。

【 0 1 6 2 】

そこで、多層膜反射鏡では目標波長において必要な反射率以上の反射率が得られるように、多層膜反射鏡の膜厚を原子層レベルで完全に制御する必要がある。しかし実際には±1%程度の膜厚誤差は生じるので、目標波長と最も反射率の高い波長とは、ずれてしまうのが普通である。例えば目標波長が $1.3\ \mu\text{m}$ の場合、膜厚制御が1%ずれると、最も反射率の高い波長は $13\ \text{nm}$ ずれてしまう。よってこの高反射率帯域（ここでは反射率が目標波長に対して必要値以上である領域と規定）は広い方が望ましい。

【 0 1 6 3 】

このように、本発明の発振波長が $1.1\sim 1.7\ \mu\text{m}$ の長波長面発光レーザダイオードにおいては、このような半導体分布ブラッグ反射鏡の構成を工夫および最適化することにより、反射率を高く維持したまま抵抗値を低減させることができるので、動作電圧、発振閾値電流等を低減でき、レーザ素子の発熱防止ならびに安定発振、低エネルギー駆動が可能となる。

【 0 1 6 4 】

再び図1を参照するに、前記上部半導体分布ブラッグ反射鏡18上には組成が $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($x=0$) で表されるp型GaAs層19が、p側電極電極20とのコンタクトを取るため、コンタクト層（p-コンタクト層）として形成されている。

【 0 1 6 5 】

図1の構成では、前記量子井戸活性層のIn組成 x は39% ($\text{Ga}_{0.61}\text{In}_{0.39}\text{As}$) とした。また量子井戸活性層の厚さは $7\ \text{nm}$ とした。なお量子井戸活性層は、GaAs基板に対して約2.8%の圧縮歪を有している。

【 0 1 6 6 】

図1の面発光レーザダイオードでは、各半導体層の成膜は、MOCVD法で行

っている。この場合、格子緩和現象は見られなかった。レーザダイオードの各層を構成する原料には、TMA（トリメチルアルミニウム）、TMG（トリメチルガリウム）、TMI（トリメチルインジウム）、 AsH_3 （アルシン）、 PH_3 （フォスフィン）を用いた。また、キャリアガスには H_2 を用いた。図1の素子のように活性層（量子井戸活性層）の歪が大きい場合には、非平衡となる低温成長が好ましい。今の場合には、 GaInAs 層15a（量子井戸活性層）は 550°C で成長させている。ここで使用したMOCVD法は過飽和度が高く、高歪活性層の結晶成長に適している。またMBE法のような高真空を必要とせず、原料ガスの供給流量や供給時間を制御すれば良いので量産性にも優れている。

【0167】

図示のレーザダイオードでは、電流経路外の部分はプロトン（ H^+ ）のイオン注入によって高抵抗領域15Fを形成し、電流狭さく構造を形成している。

【0168】

さらに図1の構成では、上部反射鏡18の最上部の層上に形成され上部反射鏡18の一部を構成するp型コンタクト層上に光出射部20Aを除いて前記p側電極20を形成してあり、また基板の裏面にn側電極21を形成してある。

【0169】

本実施例では、上下反射鏡12および18により挟まれ、キャリアが注入され再結合が生じる活性領域（本実施例では上部及び下部スペーサ層16、14と多重量子井戸活性層15とからなる共振器）において、活性領域内にはAlを含んだ材料（III族に占める割合が1%以上）を用いず、さらに下部反射鏡12及び上部反射鏡18の低屈折率層の最も活性層に近い層を $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$ （ $0 < x \leq 1$, $0 < y \leq 1$ ）よりなる非発光再結合防止層13あるいは17としている。すなわちxあるいはyの値を適宜選ぶことにより、 GaInP もしくは GaInPAs もしくは GaPAs が非発光再結合防止層として使われる。なおこの層には、Al以外の他の材料を微量添加する場合もあるが、主たる材料は、 $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$ （ $0 < x \leq 1$, $0 < y \leq 1$ ）である。

【0170】

このような構造では、キャリアは活性層に最も近くワイドギャップである上部

及び下部反射鏡の低屈折率層間に閉じ込められるので、活性領域のみをA1を含まない層（III族元素に占める割合が1%以下）で構成しても、活性領域に接する反射鏡の低屈折率層（ワイドギャップ層）にA1を含んだ構造としたのでは、キャリアが注入され再結合する時にこの界面で非発光再結合が生じ発光効率は低下してしまう。よって前記活性領域のみならず、これに接する低屈折率層も、A1を含まない層で構成することが望ましい。

【0171】

また、この主たる組成が $Ga_x In_{1-x} P_y As_{1-y}$ ($0 < x \leq 1$, $0 < y \leq 1$) よりなる非発光再結合防止層は、その格子定数がGaAs基板よりも小さく、従って引張り歪を蓄積している。

【0172】

エピタキシャル成長では下地の情報を反映して成長するので基板表面に欠陥があると成長層へ這い上がっていく。欠陥が活性層に達すると発光効率を低減させてしまう。しかしこのような歪層があるとそのような欠陥の這い上がりが抑えられ効果があることが知られている。

【0173】

一方、歪を有する活性層では臨界膜厚が低減し、必要な厚さに層を成長できないなどの問題が生じやすい。特に活性層の圧縮歪量が例えば2%以上と大きい場合や、歪層を臨界膜厚より厚く成長する場合には、低温成長などの非平衡成長を行っても欠陥の存在で膜成長が生じないなどの問題が生じることがある。これに対し、歪層があるとそのような欠陥の這い上がりが抑えられるので、発光効率を改善したり、活性層の圧縮歪量が例えば2%以上の層を成長できたり、歪層の厚さを臨界膜厚より厚く成長することが可能となる。

【0174】

前記 $Ga_x In_{1-x} P_y As_{1-y}$ ($0 < x \leq 1$, $0 < y \leq 1$) 層13あるいは17は活性領域に接しており、活性領域にキャリアを閉じ込める役割も担っているが、前記 $Ga_x In_{1-x} P_y As_{1-y}$ ($0 < x \leq 1$, $0 < y \leq 1$) 層13あるいは17は、格子定数が小さくなるほどバンドギャップエネルギーを大きく取り得る特徴を有している。例えば $Ga_x In_{1-x} P$ ($y = 1$ の場合) 膜の

場合、組成パラメータ x が大きくなり、膜組成がGaPに近づくとも格子定数が大きくなり、バンドギャップも増大する。バンドギャップエネルギー E_g は、直接遷移で $E_g(\Gamma) = 1.351 + 0.643x + 0.786x^2$ 、間接遷移で $E_g(X) = 2.24 + 0.02x$ と与えられている。よって前記活性領域と前記 $Ga_xIn_{1-x}PyAs_{1-y}$ ($0 < x \leq 1$, $0 < y \leq 1$) 層13あるいは17との間でのヘテロ障壁の高さは大きくなり、キャリア閉じ込めが向上し、しきい値電流が低減し、温度特性が改善される。

【0175】

さらに前記 $Ga_xIn_{1-x}PyAs_{1-y}$ ($0 < x \leq 1$, $0 < y \leq 1$) 層よりなる非発光再結合防止層13あるいは17は格子定数がGaAs基板よりも大きく、また前記活性層の格子定数が前記 $Ga_xIn_{1-x}PyAs_{1-y}$ ($0 < x \leq 1$, $0 < y \leq 1$) 層13あるいは17よりも大きく、圧縮歪を蓄積している。前記 $Ga_xIn_{1-x}PyAs_{1-y}$ ($0 < x \leq 1$, $0 < y \leq 1$) 層に蓄積される歪の方向は活性層に蓄積される歪みの方向と同じなので、活性層が感じる実質的な圧縮歪量は低減される。歪が大きいほど外的要因の影響を受けやすいので、本発明の構成は、特に活性層の圧縮歪量が例えば2%以上と大きい場合や、臨界膜厚を超えた場合に特に効果的である。

【0176】

発振波長が $1.3\mu m$ 帯の面発光レーザダイオードはGaAs基板上に形成するのが好ましく、共振器には半導体多層膜反射鏡を用いる場合が多い。この場合、トータルの厚さが $5\sim 8\mu m$ で50～80層の半導体層を活性層成長前に成長する必要がある（これに対し、端面発光レーザダイオードの場合には、活性層成長前のトータルの厚さは $2\mu m$ 程度で、3層程度の半導体層を成長するだけで十分である。）このように活性層形成に先立って多数の半導体層を成長させる場合、高品質のGaAs基板を用いてもさまざまな原因でGaAs基板表面の欠陥密度に比べて活性層成長直前の表面の欠陥密度はどうしても増えてしまう。一度発生した欠陥は、基本的には結晶成長方向に這い上がるし、ヘテロ界面での新たに欠陥が生じることもある。これに対し、活性層成長以前に歪層の挿入や、活性層が感じる実質的な圧縮歪量の低減処理を行うと、活性層成長直前の表面にある欠

陥の影響を低減できるようになる。

【0177】

本実施例では、活性領域内及び反射鏡と活性領域との界面にA1を含まない構成としたので、キャリア注入時にA1に起因して生じる結晶欠陥が原因の非発光再結合が除去され、非発光再結合が低減される。

【0178】

前述のように、反射鏡と活性領域との界面にA1を含まない非発光再結合防止層を設ける構成は、上下の反射鏡12および18の双方に適用することが好ましいが、一方の反射鏡に適用するだけでも効果は得られる。また図示の例では上下反射鏡とも半導体分布ブラッグ反射鏡としたが、一方の反射鏡を半導体分布ブラッグ反射鏡とし、他方の反射鏡を誘電体反射鏡することも可能である。

【0179】

また前述の例では、反射鏡12あるいは18において最も活性層に近い低屈折率層のみを $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$ ($0 < x \leq 1$, $0 < y \leq 1$) 非発光再結合防止層13あるいは17としているが、複数の $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$ ($0 < x \leq 1$, $0 < y \leq 1$) 層により前記非発光再結合防止層13あるいは17を構成しても良い。

【0180】

本実施例では、GaAs基板と活性層との間の下部反射鏡12にこの考えを適用し、活性層の成長時に問題となる、A1に起因する結晶欠陥の活性層への這い上がりによる悪影響を抑制することができる。その結果、活性層を高品質に結晶成長することができ、発光効率が高く、信頼性が実用上十分な面発光レーザダイオードを得ることが可能になる。また、本実施例では前記半導体分布ブラッグ反射鏡の低屈折率層のすべてではなく、少なくとも活性領域に最も近い部分をA1を含まない $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$ ($0 < x \leq 1$, $0 < y \leq 1$) 層としただけなので、反射鏡の積層数を特に増加させることなく、上記効果を得ることができる。

【0181】

このようにして製作した面発光レーザダイオードは、約1.2 μm の波長でレ

ーザ発振した。GaAs 基板上の GaInAs は、In 組成の増加で長波長化するが、歪み量の増加をとまなうため、従来は $1.1\ \mu\text{m}$ までが長波長化の限界と考えられていた（文献「IEEE Photonics Technol. Lett. Vol. 9 (1997) pp. 1319-1321」参照）。しかし、今回発明者が製作したように、 600°C 以下の低温成長などの非平衡度の高い成長法を使うことにより、高歪の GaInAs 量子井戸活性層を従来より厚くコヒーレント成長することが可能となり、その結果、 $1.2\ \mu\text{m}$ の発振波長を達成できたと考えられる。なおこの波長は、Si 半導体基板に対して透明である。従って Si 基板上に電子素子と光素子を集積した回路チップを形成した場合、Si 基板を通した光伝送が可能となる。

【0182】

以上の説明より明らかなように In 組成が大きい高圧縮歪の GaInAs を活性層に用いることにより、GaAs 基板上に長波長帯の面発光レーザダイオードを形成できることが見出された。

【0183】

なお前述のように、このような面発光レーザダイオードは、MOCVD 法で成長させることができるが、MBE 法等の他の成長方法を用いることもできる。また活性層の積層構造として実施例では 3 重量子井戸構造 (TQW) の例を示したが、量子井戸数の異なる様々な量子井戸を用いた構造 (SQW, MQW) 等を用いることもできる。

【0184】

レーザの構造も他の構造にしてもかまわない。また共振器長は λ の厚さとしたが $\lambda/2$ の整数倍とすることができる。望ましくは λ の整数倍である。また半導体基板として GaAs を用いた例を示したが、InP などの他の半導体基板を用いた場合でも上記の考え方を適用できる。反射鏡の周期は他の周期でも良い。

【0185】

なおこの例では活性層として主たる元素が Ga, In, As よりなる層、すなわち $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}$ (GaInAs 活性層) の例を示したが、より長波長のレーザ発振を行うためには、N を添加し主たる元素が Ga, In, N, As か

らなる層 (GaInNAs 活性層) とすればよい。

【0186】

実際に、GaInNAs 活性層の組成を変えることにより、 $1.3\mu\text{m}$ 帯、 $1.55\mu\text{m}$ 帯のそれぞれにおいて、レーザ発振を行うことが可能であった。また活性層の組成を選ぶことにより、さらに長波長の例えば $1.7\mu\text{m}$ 帯の面発光レーザも可能であると考えられる。

【0187】

また、活性層に GaAsSb を用いても、GaAs 基板上に $1.3\mu\text{m}$ 帯面発光レーザを実現できる。このように波長 $1.1\sim 1.7\mu\text{m}$ のレーザダイオードは従来適した材料がなかったが、活性層に高歪の GaInAs, GaInNAs, GaAsSb を用い、かつ、非発光再結合防止層を設けることにより、従来安定発振が困難であった波長 $1.1\sim 1.7\mu\text{m}$ 帯の長波長領域において、高性能な面発光レーザを実現できるようになった。

[第2実施例]

次に本発明の光送受信システムに適用される発光素子である長波長面発光レーザダイオードの他の構成について、図27を用いて説明する。ただし図10中、先に説明した部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

【0188】

図27を参照するに、本実施例においても図1の場合と同様に、面方位 (100) の n 型 GaAs 基板 11 を使用している。前記 GaAs 基板 11 上には、それぞれの媒質内における発振波長 λ の $1/4$ 倍の厚さ ($\lambda/4$ の厚さ) で組成が $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($x=0.9$) の n 型 AlGaAs と組成が $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($x=0$) の n 型 GaAs とを交互に 35 周期積層した n 型半導体分布ブラッグ反射鏡 ($\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}/\text{GaAs}$ 下部反射鏡) 12 を形成し、その上に $\lambda/4$ の厚さの、組成が $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$ ($x=0.5$, $y=1$) で与えられる n 型 InGaP 層 13 を積層した。この例では n 型 $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$ ($x=0.5$, $y=1$) 層 13 も下部反射鏡 12 の一部であり低屈折率層の一つを構成している。

【0189】

前記 InGaP 層 13 上には、アンドープ下部 GaAs スペーサ層 14 と、3 層の $Ga_x In_{1-x} N_y As_{1-y}$ 量子井戸活性層 15a、間に膜厚が 15 nm の GaAs バリア層 15b を介在させて積層することにより形成される多重量子井戸活性層 15 と、前記多重量子井戸活性層 15 上に形成されたアンドープ上部 GaAs スペーサ層 16 とにより、媒質内における発振波長の 1 波長分の厚さ (λ の厚さ) の共振器 15R が形成されている。図示の例では、前記多重量子井戸活性層 15 は、3 重量子井戸 (TQW) 構造を形成している。前記共振器 15R は、面発光レーザダイオードの活性領域を構成する。

【0190】

前記共振器 15R 上には、p 型半導体分布ブラッグ反射鏡 (上部反射鏡) 18 が形成される。

【0191】

前記上部反射鏡 18 は、被選択酸化層となる AlAs 層 18₁ を前記 GaInP 層 17 と AlGaAs 層とで挟んだ構成の、 $3\lambda/4$ の厚さを有する低屈折率層を含む。ここで前記 GaInP 層 17 は C でドーパされ組成が $Ga_x In_{1-x} P_y As_{1-y}$ ($x=0.5$, $y=1$) で表される GaInP 層よりなり、 $\lambda/4-15$ nm の厚さを有する。これに対し、前記被選択酸化層を構成する AlAs 層は C ドープされ組成が $Al_z Ga_{1-z} As$ ($z=1$) で表される膜厚が 30 nm の層であり、前記 AlGaAs 層は、厚さが $(2\lambda/4-15$ nm) で組成が $Al_x Ga_{1-x} As$ ($x=0.9$) で表される C ドープ AlGaAs 層よりなる。

【0192】

さらに、前記低屈折率層上には厚さが $\lambda/4$ の GaAs 層が 1 周期形成され、さらに前記 GaAs 層上には C でドーパされ組成が $Al_x Ga_{1-x} As$ ($x=0.9$) で表される p 型 AlGaAs 層と、C でドーパされ組成が $Al_x Ga_{1-x} As$ ($x=0$) であらわされる p 型 GaAs 層とが、それぞれの媒質内における発振波長の $1/4$ 倍の厚さで交互に積層 22 周期積層され、前記上部反射鏡 18 の要部を構成する周期的積層構造が形成される。

【0193】

なおこの例においても、図27では複雑になるので図示することは省略しているが、半導体分布ブラッグ反射鏡18には、図2に示したような低屈折率層18aと高屈折率層18bとの間に、屈折率が中間の値をとる $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$ ($0 \leq y < z < x \leq 1$) 層よりなるヘテロスパイク緩衝層18cを設けている。

【0194】

本実施例では、前記半導体分布ブラッグ反射鏡18最上部の組成が $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($x=0$) で表されるp型GaAs層は、電極とのコンタクトを確保するためのコンタクト層（p-コンタクト層）としての役割を担っている。

【0195】

本実施例の面発光レーザダイオードでは、前記量子井戸活性層15aのIn組成xは37%、N（窒素）組成は0.5%としている。また量子井戸活性層の厚さは7nmとしている。

【0196】

本実施例では、前記面発光レーザダイオードを構成する各半導体層の成長は、MOCVD法で行った。レーザダイオードの各層を構成する原料としては、TMA（トリメチルアルミニウム）、TMG（トリメチルガリウム）、TMI（トリメチルインジウム）、 AsH_3 （アルシン）および PH_3 （フォスフィン）を、それぞれAl、Ga、In、AsおよびPの原料として使い、窒素の原料にはDMHy（ジメチルヒドラジン）を使った。DMHyは低温で分解するので600℃以下のような低温成長に適しており、特に低温成長の必要な歪みの大きい量子井戸層を成長する場合に好ましい。なおキャリアガスには H_2 を用いた。またGaInNAs層（量子井戸活性層）の成長は、540℃で行った。

【0197】

MOCVD法は過飽和度が高く、Nと他のV族元素を同時に含んだ材料の結晶成長に適している。またMBE法のような高真空を必要とせず、原料ガスの供給流量や供給時間を制御すれば良いので量産性にも優れている。

【0198】

本実施例では、さらにこのようにして形成された積層構造のうちの所定の部分

を前記 p 型 $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$ ($x=0.5$, $y=1$) 層 17 に達するまでエッチングし、前記 $\text{p-Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$ ($z=1$) 被選択酸化層 18₁ を側面上に露出さるメサ構造を形成する。さらにこのようにメサ構造側壁面上に露出された前記 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$ ($z=1$) 層 18₁ を水蒸気で側面から酸化して、組成が Al_xO_y で表される電流狭窄層 18₂ を形成する。

【0199】

最後にポリイミド膜などの絶縁膜により、先にメサエッチングで除去された部分を埋め込んで平坦化し、上部反射鏡上のポリイミドを除去することにより、ポリイミド領域 18₃ を形成する。さらに前記 p 型コンタクト層上に光出射部を除いて p 側電極 20 を形成し、GaAs 基板 11 の裏面に n 側電極 21 を形成する。

【0200】

本実施例においては、被選択酸化層 18₁ の下部に、前記上部反射鏡 18 の一部として、前記 $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$ ($0 < x \leq 1$, $0 < y \leq 1$) 層 17 が挿入されている。GaInPAs 系材料は、硫酸系エッチャントを使った場合、AlGaAs 系材料に対してエッチング停止層として用いることができるため、前記メサ構造の形成工程においてウェットエッチングを使う場合、硫酸系エッチャントを使うことにより、 $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$ ($0 < x \leq 1$, $0 < y \leq 1$) 層 17 においてエッチングが自発的に停止し、メサ構造の高さを厳密に制御できる。このため、基板上に同時に形成される面発光レーザダイオードの均一性および再現性が向上し、また製造費用を低下することが可能になる。特に本実施例の面発光レーザダイオード（素子）を一次元または二次元に集積したレーザダイオードアレイを製造する場合、素子製造の際の御性が良好になることにより、アレイ内における各素子の素子特性の均一性および再現性が向上する。

【0201】

なお図 27 の本実施例では、エッチングストップ層を兼ねる $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$ ($0 < x \leq 1$, $0 < y \leq 1$) 層 17 が上部反射鏡 18 の側に設けられているが、その他に、同様な GaInP 層 13 が、下部反射鏡 12 の側にも

設けられている。

【0202】

本実施例においても、上下反射鏡12、18に挟まれて形成されキャリアを注入されて再結合を生じる活性領域15において、前記活性領域15内にはAlを含んだ材料を用いていない。さらに前記下部反射鏡12及び上部反射鏡18の低屈折率層のうち、最も活性層15に近い層を組成が $Ga_x In_{1-x} P_y As_{1-y}$ ($0 < x \leq 1$, $0 < y \leq 1$) で表される非発光再結合防止層13あるいは17としている。従って、本実施例では活性領域15内、及び反射鏡12あるいは18と活性領域15との間の界面にAlが含まれることがなく、キャリア注入時にAlに起因する結晶欠陥により生じる非発光再結合を低減させることができる。

【0203】

なお、このような反射鏡と活性領域との界面にAlを含まない構成は、本実施例のように上下の反射鏡12、18の双方に適用することが好ましいが、いずれか一方の反射鏡に適用するだけでも効果は得られる。またこの例では、上下の反射鏡12、18のいずれもが半導体分布ブラッグ反射鏡としたが、一方の反射鏡のみを半導体分布ブラッグ反射鏡とし、他方の反射鏡を誘電体反射鏡としても良い。

【0204】

さらに、本実施例において、GaAs基板11と活性層15との間に設けられる下部反射鏡12を図1の例の場合と同様に構成したので、前記活性層15の成長時に問題となるAlに起因する結晶欠陥の活性層15中への這い上がりによる悪影響は効果的に抑制され、活性層15を高品質に形成することができる。

【0205】

なお、このような非発光再結合防止層13あるいは17は、図1、図27のいずれの構成においても半導体分布ブラッグ反射鏡12あるいは18の一部を構成するので、その厚さは媒質内における発振波長 λ の $1/4$ 倍の厚さ($\lambda/4$ の厚さ)としている。これらの非発光再結合防止層は、複数層も設けることも可能である。

【0206】

以上の説明では、半導体ブラッグ反射鏡12あるいは18の一部に非発光再結合防止層13あるいは17を設けた例を示したが、このような非発光再結合防止層を共振器15中に設けることも可能である。例えば、前記共振器15をGaInNAs量子井戸層15aとGaAs障壁層15bとからなる活性層15とした構造において、GaAs層を第1の障壁層として使い、GaInPAs、GaAsPあるいはGaInPからなる非発光再結合防止層を第二の障壁層として使う構造があげられる。その際、共振器部の厚さは1波長分の厚さとすることができ、この場合、非発光再結合防止層はGaAs第1の障壁層よりバンドギャップが大きいのでキャリアが注入される活性領域は、実質的にGaAs障壁層までとなる。

【0207】

また、残留したAl原料やAl反応物、Al化合物あるいはAlを除去する工程をレーザダイオードの製造工程中に設ける場合には、非発光再結合防止層の形成工程の途中に設けるのが、あるいはAlを含んだ層と非発光再結合防止層との間にGaAs層を形成する工程を設け、このGaAs層形成工程の途中などで行うことができる。

【0208】

本実施例の構成により、発光効率が高く、信頼性の高い面発光レーザダイオードが得られた。その際、半導体分布ブラッグ反射鏡12あるいは18のうち、低屈折率層の全てではなく、少なくとも活性領域に最も近い部分を、Alを含まない $Ga_xIn_{1-x}P_yAs_{1-y}$ ($0 < x \leq 1$, $0 < y \leq 1$) よりなる非発光再結合防止層としただけなので、反射鏡の積層数を特に増加させることなく、上記効果を得ることができた。

【0209】

またこのような構成にしても、ポリイミドの埋め込みは容易であるので、p側電極を構成する配線を形成する際にも配線が段部等において断線することがなく、素子の信頼性はさらに向上する。

【0210】

このように製作した面発光レーザダイオードは、約 $1.3 \mu\text{m}$ の波長でレーザ発振するのが確認された。

【0211】

本実施例では、主たる元素が Ga, In, N, As からなる、GaInNAs 層を活性層に用いたので、GaAs 基板 11 上に長波長帯の面発光レーザダイオードを形成することが可能になった。また Al と As を主成分とした被選択酸化層 18₁ の選択酸化により電流狭さくを行ったので、レーザ発振の際のしきい値電流も、十分に抑制された。前記被選択酸化層 18₁ を選択酸化した Al 酸化膜 18₂ からなる電流狭さく層を用いた電流狭さく構造によると、電流狭さく層 18₂ を活性層に近づけて形成することで電流の拡散を抑えられ、大気に触れない微小領域に効率良くキャリアを閉じ込めることが可能になる。また、前記電流狭さく層 18₂ は酸化の結果 Al 酸化膜となるが、Al 酸化膜は屈折率が小さく、キャリアの閉じ込められた微小領域に効率良く光を閉じ込めることが可能になる。その結果、レーザダイオードの効率がさらに改善され、しきい値電流が低減される。また容易に電流狭さく構造を形成できることから、製造コストを低減できる。

【0212】

以上の説明から明らかなように、図 10 のような構成においても図 1 の場合と同様に、 $1.3 \mu\text{m}$ 帯で発振し、消費電力が小さく、安価に製造できる面発光レーザダイオードを実現できる。

【0213】

なお図 27 の面発光レーザダイオードも、図 1 の場合と同様に MOCVD 法で成長させることができるが、MBE 法等の他の成長方法を用いることもできる。また上記の実施例では、窒素の原料に DMHy を用いたが、活性化した窒素や NH_3 等他の窒素化合物を用いることもできる。

【0214】

さらに本実施例では活性層 15 の積層構造として 3 重量子井戸構造 (TQW) の例を示したが、量子井戸層の数が異なる他の構造、例えば SQW 構造や DQW 構造、あるいは MQW 構造等を用いることもできる。さらにレーザ構造も、他の

構造を使うことが可能である。

【0215】

図27の面発光レーザダイオードにおいて、GaInNAs活性層15aの組成を調整することで、 $1.55\mu\text{m}$ 帯、更にはもっと長波長の $1.7\mu\text{m}$ 帯の面発光レーザダイオードを実現することも可能である。その際、GaInNAs活性層にTl, Sb, Pなど他のIII-V族元素が含まれていてもかまわない。また活性層にGaAsSbを用いた場合でも、GaAs基板上に $1.3\mu\text{m}$ 帯の面発光レーザダイオードを構成することができる。

【0216】

なお以上の説明では、活性層として、主たる元素がGa, In, Asよりなる層(GaInAs活性層)、あるいはNを添加し、主たる元素がGa, In, N, Asからなる層(GaInNAs活性層)を用いる場合を説明してきたが、他にGaNA_s, GaPN, GaNPAs, GaInNP, GaNA_sSb, GaInNAsSb等も使用できる。特にこれらの例のように、活性層中に窒素が含まれる場合、本発明の非発光再結合防止層は特に効果的である。

【0217】

図28は、MOCVD法により作製した、GaInNAs量子井戸層とGaAsバリア層とからなるGaInNAs/GaAs2重量子井戸構造を有する活性層について、室温フォトルミネッセンススペクトルを測定した結果を示す。また図29は試料の構造を示す。

【0218】

図29を参照するに、GaAs基板201上には下部クラッド層202と、中間層203Aと、窒素を含む活性層204と、別の中間層203Bと、上部クラッド層205とが順次積層されている。

【0219】

図28を参照するに、曲線AはAlGaAs層をクラッド層202として使い、GaAs中間層203Aあるいは203Bをはさんで2重量子井戸構造を形成した試料についての結果を示し、対し曲線Bは、GaInP層をクラッド層202として使い、GaAs中間層をはさんで2重量子井戸構造を連続的に形成した

試料についての測定結果を示す。

【0220】

図28に示すように、試料Aでは試料Bに比べてフォトルミネッセンス強度が半分に以下に低下しているのがわかる。これは、1台のMOCVD装置を用いてAlGaAs等のAlを構成元素として含む半導体層上に、GaInNAs等の窒素を含む活性層を連続的に形成すると、活性層の発光強度が劣化してしまうという問題が生ることを示している。このため、AlGaAsクラッド層上に形成したGaInNAs系レーザダイオードの閾電流密度は、同じレーザダイオードをGaInPクラッド層上に形成した場合に比べて2倍以上高くなってしまふ。

【0221】

本発明の発明者は、この問題の原因解明を行い、以下に説明する知見を得た。

【0222】

図30は、クラッド層202および205をAlGaAs層により形成し、中間層203Aおよび203BとしてGaAs層を使い、活性層がGaInNAs/GaAs2重量子井戸構造により形成されている構成の素子を、1台のMOCVD成膜装置を用いて形成したときの、素子中における窒素と酸素濃度の深さ方向分布を示す。ただし図30の測定はSIMSにより、表3に示す測定条件で行った。

【0223】

【表3】

1次イオン種	Cs+
1次加速電圧	3.0 kV
スパッタレート	0.5 nm/s
測定領域	160×256 μm ²
真空度	< 3E-7Pa
測定イオンの極性	-

図30を参照するに、GaInNAs/GaAs2重量子井戸構造に対応して、活性層204中に2つの窒素ピークが出現しているのがわかる。一方図13の結果では、活性層204においても酸素のピークが検出されているのがわかる。

これに対し、NとAlを含まない中間層203A、203B中における酸素濃度は、活性層204中の酸素濃度よりも約1桁低い濃度となっている。

【0224】

一方、クラッド層202としてGaInPを使い、中間層203A、203BとしてGaAsを使い、活性層204としてGaInNAs/GaAs2重量子井戸構造を使った構成の素子について、酸素濃度の深さ方向分布を測定したところ、活性層204中の酸素濃度はバックグラウンドレベルであることが見出された。

【0225】

すなわち、窒素化合物原料と有機金属Al原料を用いて1台のエピタキシャル成長装置により、基板201と窒素を含む活性層204との間にAlを含む半導体層202を設けた半導体発光素子を連続的に結晶成長した場合、活性層204中に酸素が取りこまれることが実験的に立証された。活性層に取りこまれた酸素は非発光再結合準位を形成するため、活性層の発光効率を低下させてしまう。このように、図30の結果から、活性層中に取りこまれた酸素が、基板と窒素を含む活性層との間にAlを含む半導体層を設けた半導体発光素子における発光効率を低下させる原因であることが新たに判明した。この酸素の起源は、装置内に残留している酸素を含んだ物質や、窒素化合物原料中に不純物として含まれる酸素を含んだ物質であると考えられる。

【0226】

次に、活性層204中に酸素が取りこまれる原因について検討する。

【0227】

図31は、図30と同じ試料について求めたAlの深さ方向分布を示す図である。測定は、図30と同様にSIMSによって行った。表4に測定条件を示す。

【0228】

【表 4】

1次イオン種	O ₂ ⁺
1次加速電圧	5.5 kV
スパッタレート	0.3 nm/s
測定領域	60 μ m ϕ
真空度	< 3E-7Pa
測定イオンの極性	+

図 3 1 を参照するに、本来 A 1 原料を導入していない活性層 2 0 4 においても A 1 が検出されているのがわかる。一方、A 1 を含むクラッド層 2 0 2 あるいは 2 0 5 に隣接した G a A s 中間層 2 0 3 A あるいは 2 0 3 B においては、A 1 濃度は活性層よりも約 1 桁低いことがわかる。これは、活性層 2 0 4 中の A 1 が、A 1 を含むクラッド層 2 0 2 あるいは 2 0 5 から拡散し、活性層 2 0 4 中において G a を置換したものではないことを示している。

【0 2 2 9】

一方、G a I n P のように A 1 を含まない半導体層上に窒素を含む活性層を成長した場合には、活性層中に A 1 は検出されなかった。

【0 2 3 0】

このようなことから、活性層 2 0 4 中に検出された A 1 は、成長室内またはガス供給ラインに残留した A 1 原料や A 1 反応物、あるいは A 1 化合物や A 1 などが、窒素化合物原料または窒素化合物原料中の不純物（水分等）と結合して活性層 2 0 4 中に取りこまれたものであること、および窒素化合物原料と有機金属 A 1 原料を用いて 1 台のエピタキシャル成長装置により、基板と窒素を含む活性層との間に A 1 を含む半導体層を有する構造の半導体発光素子を連続的に結晶成長しようとする、窒素を含む活性層中に自然に A 1 が取りこまれてしまうことが、本発明の発明者の研究により、新たに解明された。

【0 2 3 1】

図 3 1 を、図 3 0 に示した、同じ素子に対して求めた窒素と酸素濃度の深さ方向分布と比較すると、図 3 0 において前記 2 重量子井戸活性層中の 2 つの酸素ピークプロファイルは窒素濃度のピークプロファイルと一致しておらず、むしろ図

31のAl濃度プロファイルに一致することがわかる。このことから、GaInNAs量子井戸層中の酸素は、窒素原料と共に取りこまれるのではなく、量子井戸層中に取りこまれたAlと結合して取りこまれていることがわかる。すなわち、MOCVD装置の成長室内に残留したAl原料やAl反応物、Al化合物あるいはAlは、窒素化合物原料と接触すると、Alが窒素化合物原料中に含まれる水分、あるいはガスラインや反応室中に残留する水分などの酸素を含んだ物質と結合し、その結果Alが活性層中に取りこまれるものと考えられる。このように、本発明者の研究により、従来のGaAs系の面発光レーザーダイオードでは、酸素が活性層に取り込まれ、取り込まれた酸素により、活性層の発光効率が低下していたことが初めて明らかとなった。

【0232】

上記の知見から、GaAs系の面発光レーザーダイオードの発光効率を改善するためには、レーザーダイオードの製造に使われる成膜装置のうち、少なくとも成長室内の窒素化合物原料、あるいは前記窒素化合物原料中に含まれる不純物が触れる可能性のある部分から、Al原料やAl反応物、Al化合物あるいはAlを除去する必要があることが結論される。

【0233】

そこで、Alを含んだ半導体層の成長後、窒素を含む活性層成長開始までの間にこのような残留Alの除去工程を設けることにより、窒素を含む活性層を成長するために成長室に窒素化合物原料を供給した場合、残留Al原料やAl反応物、Al化合物やAlの濃度が低下しているため、残留Alと、窒素化合物原料または窒素化合物原料中に含まれる不純物や、MOCVD装置内に残留する酸素を含む物質との反応が抑制され、活性層中に取り込まれるAl及び酸素不純物の濃度を著しく低減することが可能になった。更に、前記残留Alを非発光再結合防止層成長終了後までに除去しておくこと、電流注入によって活性層にキャリアが注入される際に、活性層内での非発光再結合が抑制される好ましい効果が得られる。

【0234】

例えば、窒素を含む活性層中のAl濃度を $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下に低減す

ることにより、GaAs系の面発光レーザダイオードの室温連続発振が可能となった。さらに窒素を含む活性層中のAl濃度を $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下に低減することにより、前記活性層をAlを含まない半導体層上に形成した場合と同等の発光特性が得られた。

【0235】

成膜室内のうち、窒素化合物原料または窒素化合物原料中に含まれる不純物が触れうる部分に残留するAl原料やAl反応物、Al化合物やAlを除去する工程としては、例えばキャリアガスでパージする工程が可能である。ただし、ここでパージ工程の時間とは、Alを含む半導体層の成長が終了して成長室へのAl原料の供給が停止してから、窒素を含む半導体層の成長を開始するために窒素化合物原料を成長室に供給するまでの時間と定義する。上記パージ工程として、Alと窒素のいずれも含まない中間層の成長途中に成長中断し、キャリアガスでパージする方法も可能である。このように成長中断をしてパージを行う場合には、成長中断を、Alを含んだ半導体層の成長開始後、非発光再結合防止層の成長途中までの間に行うことができる。

【0236】

図32は、前記キャリアガスによるパージする工程を設けることにより形成された半導体発光素子の断面構造図の例を示す。ただし図32中、先に説明した部分に対応する部分には同一の参照符号を付す。従って、図32において基板201上にAlを構成元素として含む第1の半導体層202と、第1の下部中間層601と、第2の下部中間層602と、窒素を含む活性層204と、上部中間層203と、第2の半導体層205とが順次積層されている。

【0237】

図32の構造を形成するに当たり、結晶成長は有機金属Al原料と有機窒素原料を用いたエピタキシャル成長装置により行われ、その際に、前記第1の下部中間層601の成長後、前記第2の下部中間層602の成長開始前に、前記成長中断工程が設けられている。成長中断工程においては、前記成膜室のうち、前記窒素化合物原料あるいは窒素化合物原料中に含まれる不純物が触れる部分において、残留Al原料やAl反応物、Al化合物あるいはAlが、キャリアガスとして

使われる水素ガスにより、パージされる。

【 0 2 3 8 】

図 3 3 は、前記第 1 の下部中間層 6 0 1 と第 2 の下部中間層 6 0 2 との間で成長中断し、パージ工程を 6 0 秒間行って得られた半導体発光素子について、A 1 濃度の深さ方向分布を測定した結果を示す。

【 0 2 3 9 】

図 3 3 を参照するに、前記活性層 2 0 4 中の A 1 濃度が、かかる成長中断工程およびパージ工程の結果、 $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下まで低減されているのがわかる。この値は、中間層 6 0 1 あるいは 6 0 2 中の A 1 濃度と同程度である。

【 0 2 4 0 】

図 3 4 は、同じ図 3 2 の素子について、窒素と酸素濃度の深さ方向分布を測定した結果を示す。

【 0 2 4 1 】

図 3 4 を参照するに、活性層 2 0 4 中の酸素濃度が、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ と、バックグラウンドレベルまで低減されていることがわかる。なお図 3 4 で下部中間層 6 0 1 あるいは 6 0 2 中に酸素濃度のピークが現れているのは、成長中断界面に酸素が偏析したためと考えられる。よって、成長中断をしてパージする場合には、成長中断する位置を、A 1 を含んだ半導体層成長終了後で、非発光再結合防止層成長終了前までの間に設けることが好ましい。非発光再結合防止層は量子井戸活性層や障壁層よりもバンドギャップエネルギーを大きくすることができ、電流注入により活性層にキャリアが注入される際に、成長中断界面に偏析した酸素による非発光再結合による悪影響を抑えられる。非発光再結合防止層を設ける構成は、このように窒素を含む活性層を用いる場合に効果がある。

【 0 2 4 2 】

図 3 2 の半導体発光素子では、第 1 の下部中間層 6 0 1 と第 2 の下部中間層 6 0 2 との間で成長中断し、パージ工程を 6 0 分間行うことにより、窒素を含む活性層 2 0 4 中に含まれる A 1 や O 等の不純物濃度が低減され、これにより、前記活性層 2 0 4 の発光効率を改善することができた。

【 0 2 4 3 】

なお、成膜室内をキャリアガスでパージする工程において、サセプタを加熱しながらパージすることにより、サセプタまたはサセプタ周辺に吸着した Al 原料や反応生成物を離脱させ、効率良い除去を行うことができる。ただし、パージ工程において基板を同時に加熱する場合には、最表面の半導体層が熱分解するのを防止するため、成長中断中においても AsH_3 もしくは PH_3 等の V 族原料ガスを成膜室中に供給し続ける必要がある。

【 0 2 4 4 】

また MOCVD 装置の成膜室内をキャリアガスでパージする際に、基板を成膜室から別室に搬送しておくことも可能である。基板を成膜室から別室に搬送する場合には、基板が前記別室に移されているため、サセプタを加熱しながらパージを行う際にも、 AsH_3 もしくは PH_3 等の V 族原料ガスを前記成膜室に供給する必要がない。従ってサセプタまたはサセプタ周辺に堆積した Al を含む反応生成物の熱分解をより促進させることができ、これにより、効率よく成長室内の Al 濃度を低減することができる。

【 0 2 4 5 】

また、中間層を成長しながらパージを行う方法も可能である。例えば図 10 の構成では Al を含んだ AlGaAs 系からなる反射鏡 12 と窒素を含む活性層 15 との間に非発光再結合防止層 13 を設けていることから、Al を含んだ層と窒素を含む活性層 15 との距離が長くなるため、成長しながら同時にパージを行う場合でも、パージの時間を長くできる。この場合は、成長速度を遅くして時間を長くすると良い。

【 0 2 4 6 】

また、Al を含んだ AlGaAs 系からなる反射鏡 12 と窒素を含む活性層 15 とをそれぞれ別々の装置で形成する方法も可能である。この場合でも再成長界面を非発光再結合防止層 13 の下部に設けることにより、窒素を含む活性層 15 中において Al や O 等の不純物濃度を低減することができる。

【 0 2 4 7 】

通常の MBE 法のように、有機金属 Al 原料と窒素化合物原料を用いない結晶成長方法で作製した場合には、基板と窒素を含む活性層との間に Al を含む半導

体層を設けた半導体発光素子における発光効率低下については報告されていない。一方、MOCVD法ではAlを含む半導体層上に形成したGaInNAs活性層の発光効率の低下が報告されている。

【0248】

例えばElectron. Lett., 2000, 36(21), pp1776-1777において、同じMOCVD成膜室中においてAlGaAsクラッド層上にGaAsからなる中間層を設けた場合でも、連続的にGaInNAs量子井戸層を成長すると、フォトルミネッセンス強度が著しく劣化することが報告されている。上記報告においては、フォトルミネッセンス強度を改善するために、AlGaAsクラッド層とGaInNAs活性層を異なるMOCVD成長室で成長させている。従ってMOCVD法のように、有機金属Al原料と窒素化合物原料を用いる結晶成長方法の場合には、上記問題は大きく小なり生起すると考えられる。

【0249】

MBE法は超減圧（高真空中）で結晶成長が行われるのに対し、MOCVD法では成膜室中における処理圧が通常数10 Torrから大気圧程度と、MBE法に比べて著しく高いため、気相分子の平均自由行程が圧倒的に短く、供給された原料やキャリアガスがガスラインや反応室等で他と接触、反応するためと考えられる。すなわち、MOCVD法のように反応室やガスラインの圧力が高い成長方法の場合には、Alを含んだ半導体層成長後、窒素を含んだ活性層成長の開始前までの間に、更に好ましくは非発光再結合防止層成長終了後までの間に、成膜室のうち、前記窒素化合物原料あるいは窒素化合物原料中に含まれる不純物が触れる可能性のある位置に残留したAl原料やAl反応物、Al化合物あるいはAlを除去する工程を設けることにより、窒素を含んだ活性層への酸素の取りこみを効果的に防止することができる。

【0250】

たとえばAlを含んだ半導体層を成長後、窒素を含む活性層を成長する前に、ガスラインや成長室を真空引きすることも可能である。この場合には、真空排気を、基板を加熱した状態で行うと効果が高い。

【 0 2 5 1 】

また、Alを含んだ半導体層を成長後、窒素を含む活性層を成長する前に、残留Alを、エッチングガスを流して除去することも可能である。このようなAl系残留物と反応し除去することのできるガスの例としては、有機系化合物ガスが挙げられる。

【 0 2 5 2 】

例えば、上述のように窒素を含んだ活性層成長時に有機系化合物ガスの一つであるDMHyガスを、DMHyシリンダを用いて供給すると、Al系残留物と反応することは明らかである。よってAlを含んだ半導体層成長後、窒素を含んだ活性層成長の前までに有機系化合物ガスシリンダを用いて有機系化合物ガスを供給することで、反応室側壁、加熱帯、基板を保持する治具等に残留しているAl系残留物と反応させれば、これらのAl系残留物を除去することが可能である。このような方法によっても、活性層への酸素の取り込みを抑制することができる。特に窒素を含み活性層の窒素原料として用いられるガスと同じガスを用いる場合、特別なガスラインを追加する必要がない。この工程は、成長中断して行っても良く、GaNA_s、GaInNA_s、GaInNP層など窒素を含む層を活性層とは別に、ダミー層として結晶成長することにより、行っても良い。このように結晶成長工程において同時にAl除去工程を行うと、成長中断を行う場合に比べて時間的ロスがなくなり、半導体装置の製造スループットが向上する好ましい効果が得られる。

【 0 2 5 3 】

レーザダイオードの活性層にGaInAsを用いた場合、従来は1.1 μ mがレーザ発振波長の上限と考えられていたが、本発明によれば、600℃以下の低温成長により高歪のGaInAs量子井戸活性層を従来よりも厚く成長することが可能となり、1.2 μ mのレーザ発振波長を実現することが可能になった。このように、波長1.1～1.7 μ mのレーザダイオードは従来適した材料がなかったが、活性層に高歪のGaInAs、GaInNA_s、GaAsSbを用い、かつ非発光再結合防止層を設けることにより、従来安定発振が困難であった波長1.1～1.7 μ m帯の長波長領域において、高性能な面発光レーザを実現でき

るようになり、光通信システムへの応用の可能性が開かれた。

[第3実施例]

図35は先に説明した図1あるいは図10の長波長面発光レーザダイオード素子を含むレーザダイオードチップ32を、面方位(100)のn型GaAsウエハ31上に形成した例を示す。

【0254】

図35を参照するに、レーザダイオードチップ32には、1～n個のレーザダイオード素子が形成されているが、その個数nおよび配列は、レーザダイオードチップ32の用途に応じて決められる。

【0255】

図36は、レーザ発振波長が1.1μm帯～1.7μm帯の長波長面発光レーザダイオードを用いた光送受信システムの一例を示す。図36中、先に説明した部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

【0256】

図36を参照するに、発光光源である面発光レーザダイオードチップ32はA地点において、前記レーザダイオードチップ32中の発光部32Aが光ファイバに結合するように設置されており、前記レーザダイオードチップ32の発光部32から出射した光信号は、光ファイバ33中に注入され、図中太矢印で示した方向に伝送される。前記光ファイバ33の終端部はB地点に設置されており、前記B地点においては受光ユニットを構成するフォトダイオード等の受光素子34が、その光ディテクタ部34Aを前記光ファイバ33に光結合して設けられており、光送受信システムが構成される。

【0257】

この例では、発光光源の設置場所Aと受光ユニットの設置場所Bとは、前記光ファイバ33によって直線で結ばれている。

【0258】

図37は図36の構成を模式的に示す。

【0259】

図 3 7 を参照するに、図中の黒丸 A, B はそれぞれ発光光源 3 2 と受光ユニット 3 4 の設置場所を示し、黒太線は光ファイバ 3 3 を示す。

【 0 2 6 0 】

通常、このように発光光源 3 2 と受光ユニット 3 4 とは伝送路である光ファイバ 3 3 で光学的に結合され光送受信システムとして機能するが、本発明のレーザ発振波長が $1.1 \mu\text{m}$ 帯 ~ $1.7 \mu\text{m}$ 帯の長波長面発光レーザダイオードを用いた光送受信システムにおいては、数 10 m ~ 数 10 km にわたって伝送路が形成され、その間に障害物が全くないとは限らない。

【 0 2 6 1 】

例えば図 3 8 は障害物 3 5 A, 3 5 B が前記地点 A と B との間に存在し、発光光源の設置場所 A と受光ユニットの設置場所 B が直線状の伝送路で 3 3 で接続することができず、伝送路を直角に曲げた例を示している。

【 0 2 6 2 】

図 3 8 の場合、伝送路が直角に曲がる部分で光ファイバ 3 3 を直角に屈曲させると光ファイバ 3 3 は破損してしまい、伝送路として機能しなくなる。すなわち局所的に光ファイバ 3 3 に角度が形成されるような曲げ方を行うとファイバ 3 3 が破損し、伝送路として機能しなくなる。またこの部分に伝送路を曲げる反射部材を設け、光ビームの進行方向を屈曲させることはできるが、コスト高になる。

【 0 2 6 3 】

本発明ではこのような点に鑑み、反射部材を設けるようなことは行わず、また伝送路の機能を損ねないような伝送路の曲げ方を提案する。

【 0 2 6 4 】

図 3 9 は本発明の第 3 実施例を示す。ただし図 3 9 中、先に説明した部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

【 0 2 6 5 】

図 3 9 を参照するに、図示の場合、A 地点と B 地点との間に障害物 3 5 C が存在し、発光光源の設置場所 A と受光ユニットの設置場所 B が直線状の伝送路で h は接続することができない。しかしながら、本発明ではこの例に示すように、伝送路を構成する光ファイバ 3 3 を、局所的な角度を付けずに曲げることにより、

前記発光光源 3 2 の設置場所 A と受光ユニット 3 4 の設置場所 B とを接続している。このような構成により、伝送路を構成する光ファイバ 3 3 は破損せず、また障害物 3 5 C を回避することができ、良好な光送受信システムを構築できる。

【 0 2 6 6 】

図 4 0 は本発明の他の例である。この場合にも、前記地点 A と B との間に障害物 3 5 D, 3 5 E が存在し、発光光源 3 2 の設置場所 A と受光ユニット 3 4 の設置場所 B とを伝送路で一直線につなぐことができない。

【 0 2 6 7 】

しかしながら本発明ではこの例に示すように、伝送路の光ファイバを、局所的な角度を付けずに曲げて発光光源の設置場所 A と受光ユニットの設置場所 B を接続している。本発明では、その結果伝送路が連続的に屈曲されており、階段状に角度形成されることはない。

【 0 2 6 8 】

なお上記説明は、レーザ発振波長が $1.1 \mu\text{m}$ 帯～ $1.7 \mu\text{m}$ 帯の長波長面発光レーザダイオードを用いた光送受信システムが好適に適用される中長距離通信を想定した説明であるが、本発明は光送受信システムを装置内、あるいは建物内に、たとえば数 cm～数 m の長さで構築する場合でも、好適に適用できる。この場合でも、伝送路の光ファイバを、局所的な角度を付けずに屈曲することにより、反射部材を設けなくとも光ビームの伝送方向を変化させることができる。その際、伝送路の機能が損われるようなことはない。

【 0 2 6 9 】

またこのように連続的に伝送路を曲げる場合においても、その曲げられる曲率に全く条件がないわけではない。本発明の発明者は、この点について鋭意検討を行った結果、図 3 9 や図 4 0 に示した伝送路は、直径 20 cm 以上の円の一部分をなすような曲率の伝送路にしておかないと破損するおそれがあり、また良好にレーザ光を伝送できないことを見出した。言い換えると、このような光送受信システムを構築する場合には、その伝送路は直径 20 cm 以上の円の一部分をなすような曲率の伝送路にしておけば、方向を変えるための反射部材などを特別に設けなくても、図 4 0 に示すたように障害物を避けながら伝送路を配置することができ

、低コストで確実に機能する良好な光送受信システムを構築できる。

[第4 実施例]

次に本発明の第4 実施例について説明する。

【0 2 7 0】

図4 1は、レーザ発振波長が1. 1～1. 7 μ m帯の長波長面発光レーザダイオードを用いた光送受信システムの他の例を示す。ただし図4 1中、先に説明した部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

【0 2 7 1】

図4 1を参照するに、この例ではレーザ素子発光部3 2 Aは光ファイバF 1に光結合され、レーザ素子発光部3 2 Aから出射するレーザビームは図中太矢印で示した送信方向に伝送される。前記光ファイバF 1中を伝送されたレーザビームは、その後反射部材Rで9 0° 方向を曲げられ、光ファイバF 2に入射する。前記光ファイバF 2は終端部がフォトダイオード等の受光素子3 4の光ディテクタ部3 4 Aに光結合しており、光送受信システムが構成される。

【0 2 7 2】

なおこの例は本発明の光送受信システムの特徴を説明するためのものであり、レーザ素子発光部3 2 Aも1 個しか示していないが、本発明に好適に適用される長波長面発光レーザダイオードの特徴を活かし、複数個のレーザ素子3 2 Aを1 個のチップ3 2上に形成し、またそれに光結合される光ファイバF 1および受光素子3 4も複数個用いたマルチレーザアレイ方式の大容量の光送受信が可能なシステムとすることもできる。

【0 2 7 3】

図4 2は、図4 1の光送受信システムを構内に配置した構成を示す。図4 2の例では、図4 1の光送受信システムを、建物の壁内部に配置している。図4 2中、先に説明した部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

【0 2 7 4】

図4 2を参照するに、建物内には壁4 1で画成された部屋4 2が形成されており、前記壁4 1内部の空間4 1 Aには、A地点において発光光源であるレーザ発

振波長が $1.1 \sim 1.7 \mu\text{m}$ 帯域の長波長面発光レーザダイオードチップ32が配置され、B地点において受光ユニット34を構成するフォトダイオードが設置されている。また前記空間41A内には、A地点とB地点の間で伝送路の方向変換を行う反射部材Rが設けられている。なお、図42は部屋の平面図を示しており、説明のために光送受信システムを大きく描いている。このため、部屋あるいは壁と光送受信システムの縮尺は一致していない。

【0275】

さらに、A、B両地点のそれぞれの光送受信ユニット32および34には、図示しないが、他の接続機器あるいはコネクタ等が存在する。これらは壁41の内部空間41Aにあってもよいし、そこから端子などが部屋42の中に引き出されていてもよい。

【0276】

図43は、従来の光送受信システムを構内に配置した場合の平面図を示す。ただし図43中、先に説明した部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

【0277】

図43を参照するに、レーザ素子32とフォトダイオード34とは光ファイバF12によって一直線で結ばれており、部屋42の内部を横切って光ファイバF12が配置される。このような光ファイバF12は部屋42を横切るように配置されるので、部屋の床、床下あるいは天井に配置される。

【0278】

図44も従来の光送受信システムを構内に配置した場合の例を示す。ただし図44中、先に説明した部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

【0279】

図44を参照するに、この場合にもレーザ素子32とフォトダイオード34は光ファイバF12によって結ばれているが、この例では光ファイバの可撓性を利用し、光ファイバF12を曲線的に配置している。

【0280】

しかしながら、光ファイバの可撓性を利用しても大きな曲率で伝送路の方向を変えることができるのみで、やはり光ファイバF12は部屋42を横切るように

配置されざるを得ず、このため部屋 4 2 の床上、床下あるいは天井に配置される。

【 0 2 8 1 】

これら図 4 3、図 4 4 に示した従来の配置法では、光ファイバは部屋を横切るように配置されるので、部屋の床、床下あるいは天井の光ファイバは大変煩雑かつ無秩序に配置され、これが複数本配置されるようになると互いに入り組み、絡み合い、その後のメンテナンスなどが難しくなるという問題がある。特に床に配置した場合などは、歩行者が足を引っ掛けたりして大変危険である。

【 0 2 8 2 】

これに対し、図 4 2 に示したような本発明の構成では、反射部材によって伝送路の方向を 90° 曲げられるため、このような光送受信システムを構築する際に建物の壁 4 1 や柱等に沿って、光ファイバ伝送路を秩序だって配置できる。このため仮に壁 4 1 の内部ではなく目に見えるところに配置しても、見た目にも美しく配置される。また複数本配置しても互いに入り組み、絡み合うというようなことがなく、その後のメンテナンスなどが容易に行うことができる。

【 0 2 8 3 】

本実施例では、このような構内光送受信システムを構築するにあたり、伝送路の方向変換のための反射部材 R を設けるようにしたので、建物の形状に合わせて効率よく伝送路を配置でき、不要な伝送路が目に触れるところに露出したり、建物の天井、床下あるいは壁内部において、伝送路が必要以上に面積を占有したりすることがなく、建物設計が効果的にできるようになり、美的設計への自由度が増加する。

【 0 2 8 4 】

なお反射部材 R によって伝送路の方向を曲げる場合、必ずしも 90° に限定されるものではない。しかしながら、通常建物が設計／施工される場合、特別なデザイン上の要求がない限り、その柱、壁、床、天井は、直線を 90° で交差させた平面を基調に設計・施工されることが多く、光ファイバ伝送路 F 1、F 2 を柱、壁、床、天井等にそって配置する際に、その方向が、 90° ずつ変わるようにするほうが、効率的かつ見た目の美しさからいってもより好ましい。

【 0 2 8 5 】

またこのように伝送路の方向を 90° 変換するようにすると、このような光送受信システムを構築する際に不要な伝送路が目に触れるところに露出したり、建物の天井、床下あるいは壁内部に必要以上に伝送路が面積を占有したりすることがなく、建物設計が効果的にできるようになるとともに美的設計への自由度も増加する。

【 0 2 8 6 】

図 4 5 は、本実施例の光送受信システムの他の例を示す。この例では、レーザ素子 3 2 の発光部 3 2 A から出た光信号は空間伝送され、図の矢印方向に直進し、フォトダイオード等の受光素子 3 4 の光ディテクタ部 3 4 A で受信される。

【 0 2 8 7 】

好適に利用できるレーザ素子としては、先の実施例で説明したように半導体分布ブラッグ反射鏡 1 2, 1 8 の構成を改良し、また非発光再結合防止層を設けた構成の、従来実現し得なかったレーザ発振波長が $1.1 \sim 1.7 \mu\text{m}$ 帯の面発光レーザダイオードが、信頼性、低エネルギーでの駆動、製造費用の低下の面から、好ましい。

【 0 2 8 8 】

以下の実施例の説明は、レーザ素子が 1 個の例で説明するが、本発明のような $1.1 \sim 1.7 \mu\text{m}$ 帯の長波長面発光レーザダイオードは単一のチップ上に簡単かつ安価に多数形成できるので、マルチレーザアレイ方式が簡単に実現でき、大容量の情報通信が実現する。

【 0 2 8 9 】

図 4 6 は、本実施例の光送受信システムの他の例である。ただし図 4 6 中、先に説明した部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

【 0 2 9 0 】

図 4 6 を参照するに、レーザ素子 3 2 の発光部 3 2 A から出た光信号は空間伝送され、図の矢印方向に直進するが、途中、例えば反射部材 R によって進行方向が曲げられ、フォトダイオード等の受光素子 3 4 の光ディテクタ部 3 4 A で受信される。

〔第5実施例〕

従来、エレクトロニクス機器内部では、信号伝送を導線ケーブルを用いた電気信号で行っている。したがって各種エレクトロニクス機器では、機器内部に無数の導線ケーブルが接続されているが、その導線ケーブルの配置・処理は煩雑であり、設計段階あるいは工場の組み立て段階で問題となっていた。

【0291】

そこで本発明では、このような導線ケーブルによる信号のやり取りではなく、図45あるいは図46のような光送受信システムによって電気信号を光信号に変換し、変換された光信号に空間伝送をさせ、導線ケーブルを省略、あるいは減少させ、機器内部の導線ケーブルをできるだけ少なくして、内部配線を簡素化する。このようにエレクトロニクス機器の内部配線を簡素化することにより、導線ケーブルのレイアウト処理の煩雑さをなくし、機器内部の各部品／ユニット等のレイアウトの自由度を増すことができると考えられる。

【0292】

このような本発明の光送受信システムが組み込まれるエレクトロニクス機器としては、例えば複写機やレーザプリンターのような電子写真原理を用いた記録装置、あるいはインクジェット記録装置や銀塩写真プロセスの記録装置等があげられる。本発明は、これら以外にコンピュータ、ビデオ機器、テレビ受像機等にも使用できる。

【0293】

図47は、本発明が好適に適用される電子写真複写機541を示す図、図48は図47を拡大し、内部構造を概略的に示した図である。ただし図中、先に説明した部分に対応する部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

【0294】

図47および48を参照するに、電子複写機541はシートフィードカセット542とシート回収トレイ543とを有し、さらにカバー547aで塞がれた本体筐体内に、シート供給機構548と感光ドラム546を含む像形成機構549とが収められている。

さらに前記筐体 5 4 7 中には、電子回路を担持した回路基板 5 5 0 が保持されている。

【 0 2 9 5 】

図 4 7、4 8 の電子写真複写機 5 4 1 では、前記筐体 5 4 7 中、地点 A に先に説明したレーザダイオード 3 2 が、また地点 B に先に説明したフォトダイオード 3 4 が設けられており、前記レーザダイオード 3 2 とフォトダイオード 3 4 とは、先に図 4 1 で説明した、光ファイバ F 1 とミラー R と光ファイバ F 2 とを使う構成により、光学的に結合されている。

【 0 2 9 6 】

図 4 9 は本発明が好適に適用される他の例として、インクジェット記録装置 5 5 1 を示す。図 5 0 は、図 4 9 を拡大した図であり、概略的な内部構造を示している。

【 0 2 9 7 】

図 4 9、5 0 を参照するに、前記インクジェット記録装置 5 5 1 は下部筐体 5 5 4 b と上部筐体 5 5 4 a とよりなる筐体 5 5 4 を有し、前記上部筐体 5 5 4 a 中には給紙機構 5 5 5 とインクジェット記録ヘッド 5 5 6 とが設けられている。

【 0 2 9 8 】

図 5 0 を参照するに、インクジェット記録ヘッド 5 5 6 はキャリッジ 5 5 6 A 上に左右に移動可能に設けられており、記録部 5 5 7 において、プラテンローラ 5 5 8 上に保持された記録シート上に像形成を行う。

【 0 2 9 9 】

前記下部筐体 5 5 4 b 中には電子回路を保持する回路基板 5 5 9 が設けられており、前記回路基板 5 5 9 においては、A 地点と B 地点との間に先の実施例と同様な光ファイバ F 1 2 が設けられ、前記光ファイバ F 1 2 は A 地点に設けられたレーザダイオードチップよりなる光源 3 2 が形成した光信号を、B 地点に設けられたフォトダイオードよりなる受光素子 3 4 に伝送する。

【 0 3 0 0 】

このように本発明では、各種エレクトロニクス機器の内部に導線ケーブルを撤去し、あるいはその数を減少させ、光送受信システムによって機器内部の信号の

やり取りを行う。適用されるエレクトロニクス機器として、図 4 7 ～ 図 5 0 では電子写真複写機およびインクジェット記録装置の例を示したが、本発明はこれらに限定されるものではない。

[第 6 実施例]

電子写真原理を用いた記録装置やインクジェット記録装置、あるいは銀塩写真プロセスの記録装置等では、これらの装置特有の性質として、機器内部でトナーや液体のインクあるいは液体の現像液が微粒子となって浮遊したり、あるいは紙粉と共に浮遊したり、あるいはミスト状になって浮遊する問題があり、このため機器内部は本発明の光送受信システムにとってあまり好ましい環境とはいえない。

【 0 3 0 1 】

このようなことを考慮して本発明の第 6 実施例では、図 5 1 に示したように、レーザ発光光源 3 2 および受光ユニットの 3 4 においてレーザダイオードチップ 3 2 およびフォトダイオード 3 4 をそれぞれカバーするカバー部材 3 2 B および 3 4 B を設ける。これらのカバー部材 3 2 B および 3 4 B は、例えばガラスのように透明な部材によって形成される。ただし図中、先に説明した部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

【 0 3 0 2 】

前記カバー部材 3 2 B および 3 4 B としては、ガラス以外にも、内部の歪を取り除いた高精度のプラスチック部材を使うことも可能である。このようなカバー部材は、高度な技術によって製作される本発明のレーザ素子や受光素子を物理的および化学的に保護する役割を果たす。

【 0 3 0 3 】

さらにトナー、インクあるいは紙粉等の異物が本発明のレーザダイオードチップに付着して光送受信システムの機能を損ねる、例えば光が遮光されて機能しなくなるようなことがあってはならないので、これらのカバー部材は着脱可能とされるのが好ましい。このように構成することにより、異物が付着した場合にいつでもすぐに取り外し、清浄化することができる。なお図 5 1 では反射部材 R にカ

バーを設けていないが、必要に応じて反射部材 R にもカバーを設けることができる。

【0304】

以上のような点を考えるとこのようなカバーを設ける必然性があるのは、コンピュータやビデオ機器、テレビ受像機等のような、汚染の機会の少ないものよりも、トナーや紙を利用することに起因してトナー粉や紙粉が舞ったりする機器や、内部で液体を使用したりするである機器と考えられ、本実施例のカバー部材 32B、34B は、そのような機器にはおいて特に効果的である。

[第7実施例]

図52は、レーザ発振波長が1.1～1.7 μ m帯の長波長面発光レーザダイオードを用いた光送受信システムの他の例を示す。ただし図52中、先に説明した部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

【0305】

図52を参照するに、本実施例は図36の構成において、光伝送路に沿って複数（この例では3本）の光ファイバを縦続接続し、より長距離の通信を可能とした例である。

【0306】

従来より0.85 μ m帯の波長でも光通信システムが検討されていたが、光ファイバの伝送ロスが大きく、実用的ではなかった。一方、光ファイバ中の伝送ロスが小さい実用的な長波長帯においては安定した面発光レーザ素子を構成するのが困難であった。

【0307】

これに対し、本発明では前述のように半導体分布ブラッグ反射鏡12あるいは18を改良し、また非発光再結合防止層13、17を設けるような構成により、1.1～1.7 μ m帯の波長域で発振する面発光レーザダイオードを構成できるようになり、実用的な長波長帯光通信システムが可能となった。

【0308】

図示の例では、上記のような長波長面発光レーザダイオードチップ32のレー

ザ素子発光部 3 2 A から出たレーザビームを受光し、それを伝送する第 1 の光ファイバ F G 1 と、この第 1 の光ファイバ F G 1 から出たレーザビームを受光しそれを伝送する第 2 の光ファイバ F G 2 と、この第 2 の光ファイバ F G 2 から出たレーザビームを受光しそれを伝送する第 3 の光ファイバ F G 3 とが、光信号伝送路に沿って配置されており、第 3 の光ファイバ F G 3 には、出射したレーザビームを受光するための光ディテクタ部 3 4 A を有するフォトダイオードチップ 3 4 が結合されている。

【 0 3 0 9 】

前記レーザダイオードチップ 3 2 と前記第 1 の光ファイバ F G 1 との間には、レーザダイオードと光ファイバとを接続する光接続モジュール M G 1 が設けられており、両者を光結合している。また同様に各光ファイバ間、光ファイバとフォトダイオードチップ間にも同様に、光接続モジュール M G 2 , M G 3 および M G 4 が設けられ、光結合を実現している。

【 0 3 1 0 】

図 5 3 は、上記図 5 2 のシステムに対応する伝送系 F G A に並べて、前記図 5 2 のシステムを反転させた伝送系 F G B を設けた構成を有する双方向光送受信システムを示す。図 5 3 中、先に説明した部分に対応する部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

【 0 3 1 1 】

図 5 3 を参照するに、前記伝送系 F G B は、向かって右から順に、面発光レーザダイオードチップ 3 2 のレーザ素子発光部 3 2 A から出射したレーザビームを伝送する伝送路として作用する第 3 の光ファイバ F R 3 と、前記第 3 の光ファイバ F R 3 から出射したレーザビームを伝送する伝送路として作用する第 2 の光ファイバ F R 2 と、前記第 2 の光ファイバ F R 2 から出射したレーザビームを伝送する伝送路として作用する第 1 の光ファイバ F R 1 とを含み、前記第 1 の光ファイバ F R 1 には、フォトダイオードチップ 3 4 の光ディテクタ部 3 4 A が光結合されている。

【 0 3 1 2 】

前記伝送系 F G B においては、レーザダイオードチップ 3 2 と第 3 の光ファイ

バFR3との間に接続モジュールMR4が設けられ、前記接続モジュールMR4は両者を光結合させている。また同様に光ファイバFR3とFR2との間、および光ファイバFR2とFR1との間、さらに光ファイバFR1とフォトダイオードチップ34との間にも同様に、接続モジュールMR3、MR2および接続モジュールMR1が光結合のために設けられている。

【0313】

図54は、図52の光送受信システムを複数個（n個）並列して構成した光通信システムの例を示す。

【0314】

図54を参照するに、レーザダイオードチップ32上には複数のレーザ発光部32Aが設けられており、前記複数の発光部32Aの各々に対応した多数の光ファイバにより、第1、第2および第3の光ファイバ群MFG1、MFG2およびMFG3が構成される。また、前記複数のレーザ発光部32Aに対応して、フォトダイオードチップ34も複数の光ディテクタ部34Aを有する。

【0315】

本発明では面発光レーザダイオードチップを使うため、単一のレーザダイオードチップ32に複数個のレーザ発光部32Aを設けるのは容易である。このようにレーザダイオードチップ32上に複数のレーザ発光部32Aを設けることにより、簡単に大容量通信システムを実現することができる。

【0316】

なお図示しないが、図54の光送受信システムを、図53の双方向光送受信システムの構成に従って変形し、複数本の光ファイバを並列に用いた双方向の大容量光送受信システムを構築することもできる。

〔第8実施例〕

次に本発明の他の特徴について説明する。

【0317】

図55は、図54の左側部において面発光レーザダイオードチップ32と第1の光ファイバ群MFG1とを光結合させるのに使われている光接続モジュールM

G 1 の構成を示す。ただし、前記光接続モジュール M G 1 は概念的に長方形点線で示す。以下では、前記光接続モジュールのより具体的構成を、図 5 6 ～ 5 9 を参照しながら説明する。図中、先に説明した部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

【 0 3 1 8 】

図 5 6 および図 5 7 は、それぞれ前記面発光レーザダイオードチップ 3 2 と光ファイバ群 M F G 1 とを光結合する前の状態および後の状態を示す。

【 0 3 1 9 】

図 5 6 を参照するに、図 5 5 で概念的長方形点線部分で示した光接続モジュール M G 1 は、具体的にはレーザチップホルダ 6 1 と、前記光ファイバ群 F G 1 を構成する各々の光ファイバ f g 1 を保持するファイバホルダ 6 2 とよりなり、ファイバホルダ 6 2 をチップホルダ 6 1 中に、図 5 7 に矢印で示すように挿入することにより、各々のレーザ素子発光部 3 2 A が、対応すると光ファイバ f g 1 の端面に相對するように配置され、所望の光結合が達成される。

【 0 3 2 0 】

その際、本発明では、レーザ素子発光部 3 2 A と光ファイバ f g 1 の端面（受光面）とが、左右および上下方向に、あいまいさを残すことなく互いに 1 対 1 に相對するように、ホルダ 6 1 および 6 2 には、その向きを識別するための手段を設けてある。この目的のために、図示の例では、L D チップホルダ 6 1 とファイバホルダ 6 2 のそれぞれに、矢印のマークを入れている。このような識別手段を設けることにより、本発明のような光送受信システムを構築する際、レーザダイオードチップ 3 2 と光ファイバ群 F G 1 との接続時に、瞬時に正しくホルダ 6 1、6 2 の向きを識別できるため、効率良く光接続を行うことができる。

【 0 3 2 1 】

なお、前記識別手段はこのような視認できる矢印マークに限定されるものではなく、色の違いを利用することも可能である。さらに、前記識別手段は必ずしも視認できるものに限定されるものではなく、形状の凹凸などを利用して、触覚により認識できるようなものである必要はなく、触覚により認識できるようなものを使うことも可能である。このように触覚により識別できる識別手段を使った場

合、暗闇とか夜間に工事を行う場合であっても簡単にホルダ 6 1, 6 2 の向きを識別することが可能である。

【 0 3 2 2 】

図 5 8 および 5 9 は、LD チップホルダ 6 1 とファイバホルダ 6 2 の組合せからなる光接続モジュール MG 1 の別の例を示す。

【 0 3 2 3 】

図 5 8 および 5 9 を参照するに、本実施例においても図 5 6, 図 5 7 に示した場合と同様に LD チップホルダ 6 1 とファイバホルダ 6 2 のそれぞれに識別手段を設けているが、本実施例ではそれに加えて、両者を精度良く位置決めし結合できるように、ファイバホルダ 6 2 にレーザダイオードチップホルダ 6 1 の端部（図 5 8 のフランジ面 6 1 A）と係合するフランジ面（図 5 8 のフランジ面 6 2 B）を形成している。

【 0 3 2 4 】

次に本発明の他の特徴について説明する。これは、図 5 6 ～図 5 9 に示した識別手段、位置決め／結合手段は、面発光レーザダイオードチップと第 1 の光ファイバ群 MFG 1 とを光カップリングさせる光接続モジュール MG 1 に関する。ただし本発明のこの思想は、面発光レーザダイオードチップと第 1 の光ファイバ群 MFG 1 とを光結合させる光接続モジュール MG 1 のみに適用されるものではなく、第 1 の光ファイバ群 MFG 1 と第 2 の光ファイバ群 MFG 2 とを光結合させる光接続モジュール MG 2 にも適用される。

【 0 3 2 5 】

図 6 0 は、かかる光ファイバ群を別の光ファイバ群に光結合する光接続モジュール MG 2 の例を示す。

【 0 3 2 6 】

図 6 0 を参照するに、この場合にも、第 1 の光ファイバ群 MFG 1 中の各々の光ファイバ f g 1 が、第 2 の光ファイバ群 MFG 2 中の対応する光ファイバ f g 2 と正しく結合するように、光接続モジュール MG 2 を構成するファイバホルダ 6 4 および 6 5 には、その向きを識別するための手段が、矢印マークの形で形成されている。このような識別手段を設けることにより、本発明のような光送受信

システムを構築する際には、第1の光ファイバ群MFG1と第2の光ファイバ群MFG2との接続時に、瞬時に互いの向きを識別でき、効率良く光結合作業を行うことができる。

【0327】

なお、前記識別手段は図56～59の例と同様に矢印マークに限定されるものではなく、色の違いを利用するようなものでもよい、さらに必ずしも視認できるものに限定されるものではなく、形状の凹凸などを利用した触覚により認識できるようなものでもよい。このような触覚により認識できる構造を識別手段として使うことにより、暗闇中において作業を行う場合、あるいは夜間に工事を行う場合などにおいても、簡単にファイバホルダの向きを認識できる利点が得られる。

【0328】

図60の構成では、第1のファイバ群ホルダ64と第2のファイバホルダ65のそれぞれに識別手段を設けるのみならず、さらに両者が精度良く位置決めされ、高い効率で光結合ができるように、前記第1のファイバ群ホルダ64の端部（図60中のA部）と第2のファイバホルダ65のフランジ面（図60のB部）とが、最適な光結合が得られる状態において、相互に係合するように構成されている。この場合、前記端部およびフランジ面がストッパとなり、図60の左右方向について、精度良く位置決めを行うことが可能になる。

【0329】

さらにこのような識別手段や位置決め・結合手段は、前記第2の光ファイバ群MFG2と第3の光ファイバ群MFG3を光結合させ光接続モジュールMG3においても、また前記第3の光ファイバ群MFG3とフォトダイオードチップ34を光結合させる光接続モジュールMG4においても同様に適用され、本発明のような光送受信システムを構築する際に、互いに接続される光ファイバ群間で、あるいはフォトダイオードチップと光ファイバ群間で、瞬時に互いの向きを識別することができ、さらに精度良く位置決めおよび光結合を達成することができる。

[第9実施例]

なお、本発明のような光接続モジュールを用いて複数のファイバを平行して、

また直列に接続することで数 c m ～ 数 1 0 0 k m の距離にわたり延在する大容量光送受信システムが簡単に構築できるようになった理由は、前述のように本発明により、発振波長 $1.1 \sim 1.7 \mu\text{m}$ の面発光レーザダイオード素子の安定発振が可能となったためである。また本発明によれば、従来実現できなかった発振波長が $1.1 \sim 1.7 \mu\text{m}$ の面発光レーザダイオード素子が、本発明の素子構造の工夫により実現でき、しかもレーザの素子の検査が容易になり、生産性が著しく向上する。従来の $0.85 \mu\text{m}$ のレーザ素子ではこのような光送受信システムの構築は困難であったが、本発明の発振波長が $1.1 \sim 1.7 \mu\text{m}$ の面発光レーザダイオード素子の出現により、初めて商業ベースの光送受信システムを実現することが可能になった。

【 0 3 3 0 】

図 6 1 は長波長面発光レーザダイオードを用いた通信システムの他の例を示す。ただし図 6 1 は、面発光レーザダイオード素子チップあるいは前記チップを収容するモジュールパッケージ 7 1 から引き出される光ファイバ 7 2 と、これに接続される通信用光ファイバ 7 3 とを示す。図中、先に説明した部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

【 0 3 3 1 】

図 6 1 を参照するに、モジュールパッケージ 7 1 からコネクタ 7 1 A を介して引き出される光ファイバ 7 2 は、これに接続される通信用光ファイバ 7 3 とファイバ接続部 7 4 において例えば融着等によって接続されるが、その際、一定の接続しろが必要とされる。特にモジュールパッケージ 7 1 から引き出される光ファイバケーブル 7 2 については、図 6 1 に示したガイド用光ファイバ長 L_g が短すぎるとこのようなモジュールパッケージ 7 1 の組み立てに際して大変細かい作業が必要となり、製造費用がかかってしまう。また高精度なモジュールパッケージを製作するうえでも不利になる。

【 0 3 3 2 】

通常、本発明のような通信システムに使用される光ファイバは大変微細なものであり、その径は、典型的な場合、 $50 \mu\text{m}$ あるいは $62.5 \mu\text{m}$ 程度にしかない。このような光ファイバを使ってモジュールパッケージ 7 1 を組立てる際

には、モジュールパッケージ 7 から延出する光ファイバ 7 2 を例えばピンセットのような工具を使って保持し、必要な作業を行うわけであるが、その際に光ファイバ 7 2 の長さ L_g をある値以上にしないと、工具によって保持することが困難となる。

【 0 3 3 3 】

このような組み立て作業を自動化装置によって行うこともできるが、その際でも、このような微細な光ファイバを把持するワークが必要になる。ワークの先端部、すなわち実際に光ファイバを把持する部分が光ファイバを保持する容易さを考慮すると、前記光ファイバ 7 2 の長さ L_g は、ある値以上にすることが必要である。

【 0 3 3 4 】

本発明者は、このような組み立て作業をスムーズに行うことの重要性に気づき、組み立て工程を鋭意検討した結果、各種試作を通じて図 6 1 に示した長さ L_g として、少なくとも 1 mm が必要であることを見出した。すなわち本発明のような、長波長面発光レーザダイオードを用いた通信システムにおいて、面発光レーザダイオード素子チップ、あるいは当該チップを収容するモジュールパッケージから引き出される光ファイバケーブル 7 2 の長さ L_g (図 6 1 のガイド用光ファイバ長 L_g) は、1 mm 以上とすることが必要であることが見出された。

【 0 3 3 5 】

仮にこの部分の長さを 1 mm よりも短く、光ファイバ径と同様にミクロンオーダーとした場合、組み立て作業は高価かつ高精度で、高度に機械化された設備を使い、しかも顕微鏡下で行うという大変生産性の低い作業とならざるを得ない。このような作業は、工業的に見て、非現実的である。

【 0 3 3 6 】

なおこのようなガイド用光ファイバ 7 2 は、図 6 1 に示す光通信システムを構成する光ファイバ 7 3 に、例えば融着によって接続されるが、その際に実際にガイド用光ファイバ 7 2 の端面が溶融するため、融着しろ (図 6 2 のマージン G_m) として、ミリメートルオーダーの長さが必要とされる。

【 0 3 3 7 】

本発明者は実際に融着実験を行い、図 6 2 の融着しろ G_m として必要な長さを

検討した。

【0338】

その結果、ガイド用光ファイバ長 L_g がミクロンオーダーの場合、例えば200 μm 、500 μm あるいは900 μm の場合には、光ファイバ71の端面が過剰に溶融し、良好な接合は得られなかった。一方、前記ガイド用光ファイバ長 L_g を1mm以上とした場合、例えば1mmあるいは3mmに設定した場合、良好な接合が得られることが確認された。

【0339】

要約すると、このようなガイド用光ファイバ72のファイバ長 L_g としては、モジュールパッケージ71の組み立ての観点から、また光通信システムの光ファイバとの接続の観点からも、1mm以上が必要であると結論される。

【0340】

なお、前記ガイド用光ファイバ72の上限については、モジュール組み立て作業の観点からも、また光通信システムの光ファイバ73との接続の観点からも、20mmもあれば十分である。光ファイバ7が長すぎた場合には、モジュール71の組み立て後に適宜切断し、必要な長さにすればよい。

【0341】

次に本実施例の他の側面について説明する。

【0342】

上記の説明は、光源である面発光レーザダイオード素子32と、それに直接に結合されるガイド用光ファイバ72との関係を論じたものであるが、同様の関係は、受光側についても成立する。

【0343】

図示は省略するが、図61および62の面発光レーザダイオード32をフォトダイオード等の受光素子34と置き換えると、受光側には受光素子34と、前記受光素子と直接に結合される光ファイバ（図61、62のガイド用光ファイバ72に相当）とよりなる受光ユニットが存在する。

【0344】

この受光ユニットについても、上記発光側のモジュールパッケージ71と同様

に、モジュール組み立ての観点、ならびに光通信システムの光ファイバとの接続の観点から、同様の考え方が必要である。

【 0 3 4 5 】

本発明では、この受光ユニットに関しても、前記受光素子 3 4 と最初に光結合される光ファイバ（図 6 1, 6 2 のガイド用光ファイバ 7 2 に相当）の長さを 1 mm 以上とすることにより、受光ユニットの実用的な組み立て、ならびに光通信システムの光ファイバとの信頼性の高い接続が実現される。

【 0 3 4 6 】

なお、その上限についても、発光側のモジュールパッケージと同様に 2 0 mm もあれば十分である。

〔第 1 0 実施例〕

図 6 3 は、レーザ発振波長が 1. 1 ~ 1. 7 μ m 帯の長波長面発光レーザダイオードチップ 3 2 と複数の光ファイバとを用いた通信システムの一例を示す。ただし図 6 3 中、先に説明した部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

【 0 3 4 7 】

図 6 3 の構成では、前記レーザダイオードチップ 3 2 中のレーザダイオード素子 3 2 A は、通信制御装置 8 1 により、レーザダイオード駆動回路 8 2 を介して駆動され、前記光ファイバ 7 2 および 7 3 中に、光信号が、光ビームの形で供給される。

【 0 3 4 8 】

従来レーザ発振波長が 0. 8 5 μ m 帯では光通信システムが検討されていたが、光ファイバの伝送ロスが大きくて長距離では実用的ではなかった。また従来知られている端面発光型のレーザダイオードを用いた複数の光ファイバを用いた通信システムでは、各々の発光部と対応する光ファイバを、個別に調整する必要があり、調整工程が複雑であるばかりでなく、またレーザダイオードを相互に直接接合すること、あるいは 2 次元配列することは困難であった。また発光部の出射角も大きく、出射光ビームのアスペクト比も 1 からずれており、光結合効率を高めるためにカップリングレンズを発光部と光ファイバとの間に設ける必要があっ

た。

【0349】

これに対し、本発明の1.1～1.7 μ m帯の長波長面発光レーザダイオードでは、前述のように低エネルギーで安定駆動ができ、発熱も抑制される。

【0350】

図64は1.3 μ m帯の面発光レーザダイオードの構成を示すが、このような面発光レーザダイオードでは出射角が、縦横共に約15度と、端面発光型レーザダイオードに比較して小さく、形状も円形であり、ビーム整形をする必要がない。

【0351】

従って、照射面が光ファイバ72のコア径より小さければ、カップリングレンズなしでも、個々のレーザダイオード素子32Aを対応する光ファイバ72と結合することができる。他の長波長帯域でも同様である。

【0352】

このように、面発光レーザダイオードを使うことにより、レーザダイオード素子32Aの径とファイバコア径との差が余裕度となり、複数の光ファイバを一まとめに調整することが可能になる。

【0353】

図63に示すように、個々の発光部すなわちレーザダイオード素子32Aから出射されたレーザ光は、対応する光ファイバの端面において、コア内部に高い効率で注入される。このようにして光ファイバ中に注入された光信号は、長い波長を有するため、伝送ロスが小さく、長距離に渡って伝送される。その結果、本実施例によれば、複数の光ファイバを用いることにより、実用性の非常に高い光通信システムが実現される。前述のように、面発光レーザダイオードチップ32中においてレーザダイオード素子32Aは、隣接レーザダイオード素子と干渉しない範囲で任意の2次元位置に形成することができる。

【0354】

複数の光ファイバを一括して固定するには、図65(A)～(C)に示すように、複数の光ファイバ72の各々を治具91で仮固定しておき、図65(C)に

示すように、治具 91 中に樹脂 92 を注入すればよい。その際、コネクタ接合部 71A に位置合わせガイドを設けておくことで、システム構築時における調整を省略することができる。すなわち、本実施例により、複数の光ファイバを使いながらメンテナンスの容易な光通信システムを構築することが可能となる。

【0355】

ところで、光通信システムにおける光ファイバの数は、システム毎に異なるので、ファイバ数を自在に変更できると、システムの設計を柔軟に行うことが可能になる。

【0356】

そこで図 66 (B) に示すように、コネクタ接合部 71a に光ファイバ径とほぼ同じ径の開口部を多数形成しておき、図 66 (C) の面発光レーザダイオードチップ 32 上に、前記コネクタ接合部 71a を、あらかじめ調整の上で接着しておく。さらに図 66 (A) に示すように必要な数の光ファイバをコネクタ 71b で保持したものを数種類用意しておき、必要なコネクタ 71b を選択して前記コネクタ接合部 71a に挿入する。このような構成により、光コネクタ 71A における光ファイバの無駄な使用がなくなり、また必要に応じて後から光ファイバ数を追加することが可能になり、光通信システムの設計自由度を増大させることが可能となる。

【0357】

さらに本発明の 1. 1 ~ 1.7 μm 帯の長波長面発光レーザダイオードチップ 32 では、発光部 32A を構成するレーザダイオード素子を 2 次元配列することができるので、図 67 に示すように各々の光ファイバ 95 に、隣接したファイバとは接しないように、六角形の断面形状を形成する樹脂被覆 96 を施し、かかる樹脂被覆 96 を有する光ファイバ 95 を 2 次元配列することにより、図 68 のように光ファイバを最密充填した構造の光ファイバケーブルを実現することができる。図 68 の光ファイバケーブルでは、光ファイバが最密充填されているため、前記コネクタ接続部 71A の面積を最小化することが可能になる。

【0358】

なお図 67 の構成では、前記光ファイバ 95 の外側に樹脂被覆 96 を形成する

ことで光ファイバの最密充填を実現したが、前記樹脂被覆 9 6 のかわりに近接して形成された六角形状の断面を有する孔を有する樹脂等の固定部材を使うことも可能である。

[第 1 1 実施例]

図 6 9 は長波長面発光レーザダイオードを用いた通信システムに用いる光ファイバ 1 0 1 の例を示す。ただし図中、先に説明した部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

【 0 3 5 9 】

図 6 9 を参照するに、前記光ファイバ 1 0 1 は、レーザ素子発光部 3 2 A から出射したレーザビームを注入され、注入されたレーザビームを伝送するコア 1 0 1 A と、前記コア 1 0 1 A を囲むクラッド 1 0 1 B とからなり、コア 1 0 1 A の径を D 、光ファイバ 1 0 1 の長さを L として、条件 $10^5 \leq L/D \leq 10^9$ を満足するように前記長さ L を設定している。

【 0 3 6 0 】

従来からレーザ発振波長が $0.85 \mu\text{m}$ 帯で動作する光通信システムが検討されていたが、光ファイバの伝送ロスが大きくて実用的ではなかった。また伝送ロスが小さい実用的な長波長帯においては安定したレーザ素子ができなかった。これに対し、本発明では前述のように半導体分布ブラッグ反射鏡 1 2, 1 8 の改良、および非発光再結合防止層 1 3, 1 7 を設けることにより、レーザ発振波長が $1.1 \sim 1.7 \mu\text{m}$ 帯域で安定に、低いエネルギーで駆動できる面発光レーザダイオードが実現され、その結果、実用的な長波長帯光通信システムが可能となった。

【 0 3 6 1 】

図 7 0 は上記長波長面発光レーザダイオードチップ 3 2 と光ファイバ 1 0 1 とを使った長距離光通信システムの構成を示す。

【 0 3 6 2 】

図 7 0 を参照するに、前記長距離光通信システムは、長波長面発光レーザダイオードチップ 3 2 と、前記レーザダイオードチップ 3 2 のレーザ素子発光部 3 2

Aから出射したレーザビームを注入され、それを伝送する、コア直径Dが $50\mu\text{m}$ で長さLが 5km の第1の光ファイバと101Aと、前記第1の光ファイバ101Aから出射したレーザビームを注入され、それを伝送するコア直径Dが $50\mu\text{m}$ で長さLが 5km の第2の光ファイバと101Bと、前記第2の光ファイバ101Bから出射したレーザビームを注入される光ディテクタ部34Aを有するフォトダイオードチップ34とより構成される。

【0363】

前記レーザダイオードチップ32と前記第1の光ファイバ101Aとの間には接続モジュール71が設けられ、同様に第2の光ファイバ101Bとフォトダイオードチップ34との間にも、同様な接続モジュール75が設けられている。さらに前記第1の光ファイバ101Aと第2の光ファイバ101Bの間には中継器101Cが設置され、光信号の増幅および再生を行っている。

【0364】

図70の構成において、前記第1、第2の光ファイバ101A、101Bは、通常数千 km を単位として製造されるが、製造過程において発生する気泡等の欠陥により、最終的には数百 km 程度の長さが製品の単位となる。伝播損失等を考慮すると、中継器101Cまでの送信長さは、一般的には例えばコア径が $50\mu\text{m}$ の光ファイバの場合、 $5\text{m}\sim 50\text{km}$ が実用的な範囲であり、この長さの光ファイバが光通信に用いられている。

【0365】

なお伝送距離が 50km より長い場合には、伝送ロスのため実質的な送信ができないので中継点を設け、信号を増幅する必要がある。一方、 5m よりも伝送距離が短い場合には、必ずしもこのような光通信システムでなくても他に通信手段が可能である。

【0366】

本実施例で使われる光ファイバ101としては、コア径Dが数 μm の石英ガラス光ファイバや、コア径Dが数百ミクロンのプラスチック光ファイバを使うことができ、これらの光ファイバを単独で、あるいは複数本束ねて使うことも可能である。

【 0 3 6 7 】

図 7 1 は、コア径 D が $50\ \mu\text{m}$ で送信長さ L が 500m の石英ガラス光ファイバ 1 0 1 - A と 1 0 1 - B とを束ね、受光端と光出射端でこれらの光ファイバを分離することで、双方向の光通信を行う光通信システムを示す。

【 0 3 6 8 】

図 7 1 を参照するに、本実施例では長波長面発光レーザダイオードチップ 3 2 とフォトダイオードチップ 3 4 とが対になった光送受信部 1 0 2 A, 1 0 2 B とが設けられており、前記光送受信部 1 0 2 A においてレーザダイオードチップ 3 2 の発光部 3 2 A には前記第 1 の光ファイバ 1 0 1 A が結合され、前記光ファイバ 1 0 1 A はさらに前記光送受信部 1 0 2 B において、フォトダイオードチップ 3 4 の受光部 3 4 A に光結合されている。同様に前記光送受信部 1 0 2 B においてレーザダイオードチップ 3 2 の発光部 3 2 A には前記第 2 の光ファイバ 1 0 1 B が結合され、前記光ファイバ 1 0 1 B はさらに前記光送受信部 1 0 2 A において、フォトダイオードチップ 3 4 の受光部 3 4 A に光結合されている。その際、前記光送受信部 1 0 2 A を構成するレーザダイオードチップ 3 2 とフォトダイオードチップ 3 4 とは接続モジュール 7 1 を構成し、また前記光送受信部 1 0 2 B を構成するレーザダイオードチップ 3 2 とフォトダイオードチップ 3 4 とは、接続モジュール 7 5 を構成する。

【 0 3 6 9 】

なお、長波長面発光レーザダイオードチップ 3 2 とフォトダイオードチップ 3 4 と光ファイバを一組とした構成を、レーザダイオードチップ 3 2 上に多数のレーザダイオード素子 3 2 A が形成されフォトダイオードチップ 3 4 上に多数のフォトダイオード素子 3 4 A が形成された場合に拡張することにより、大容量通信システムを実現することができる。

【 0 3 7 0 】

図 7 2 は、コア径が $100\ \mu\text{m}$ のフッ素化プラスチック光ファイバを使った、送信長さが 100m 未満の高速マルチメディアネットワークへの、本発明の適用例を示す。

【 0 3 7 1 】

図 7 2 を参照するに、局側装置 1 1 0 からコア径 D が $50\ \mu\text{m}$ で長さが $50\ \text{km}$ の第 1 の光ファイバ 1 1 1 が延出し、前記光ファイバ 1 1 1 には、さらにコア径 D が $50\ \mu\text{m}$ で長さが $1\ \text{km}$ の光ファイバを 50 本融着結線して構成した、長さが $50\ \text{km}$ の第 2 の光ファイバ 1 1 2 が結合されており、その結果、総延長が $100\ \text{km}$ の距離を G b p s オーダーの高速で情報を伝送できる高速光伝送システムが形成されている。図 7 2 の例では、石英ガラス光ファイバの伝搬損失による信号の減衰を補償するために、前記光ファイバ 1 1 1 と光ファイバ 1 1 2 との間に、光中継器 1 1 1 R が設けられている。

【 0 3 7 2 】

前記第 2 の光ファイバ 1 1 2 中を伝送された光信号はいったんネットワークターミネータ 1 1 5 に入り、電気信号に変換されて必要な端末数分のライン 1 1 5 a ~ 1 1 5 c に分配され、各々のライン 1 1 5 a ~ 1 1 5 c に、各々のライン 1 1 5 a ~ 1 1 5 c において、図 7 1 で説明した光送受信部 1 0 2 A および 1 0 2 B を含む光通信システム 1 1 6 により、再び光信号の形で伝送される。伝送された光信号は、対応する光出力ポートに供給される。前記光通信システム 1 1 6 において、前記ライン 1 1 5 a に対応した光出力ポートへの光送信には、コア径が $100\ \mu\text{m}$ で長さが $10\ \text{m}$ の光ファイバ 1 1 7 a が、前記ライン 1 1 5 b に対応した光出力ポートへの光送信には、コア径が $100\ \mu\text{m}$ で長さが $50\ \text{m}$ の光ファイバ 1 1 7 b が、また前記ライン 1 1 5 c に対応した光出力ポートへの光送信には、コア径が $100\ \mu\text{m}$ で長さが $100\ \text{m}$ の光ファイバ 1 1 7 c が使われる。このようにして伝送された光信号は、それぞれの光出力ポートにおいて光送受信部 1 0 2 B により電気信号に変換され、対応する端末機器 1 0 2 C に供給される。

【 0 3 7 3 】

また、各端末機器からの送信も、同様に光送受信部 1 0 2 B から光送受信部 1 0 2 A に、前記光ファイバ 1 1 7 a ~ 1 1 7 c を介して、光信号の形で伝送され、前記局側装置 1 1 0 に到達する。

【 0 3 7 4 】

本実施例では、使われる光ファイバ 1 1 7 a ~ 1 1 7 c のコア径が $100\ \mu\text{m}$ と大きいため、高精度なレンズ系によるアライメント等が必要無く、きわめて簡

単に事務所や家庭内の機器までの光接続が可能となる。

【 0 3 7 5 】

本実施例においても、コア径Dと光ファイバの長さLとの間には、 $10^5 \leq L/D \leq 10^9$ の関係が維持される。伝送距離が100 kmより長い場合には伝送ロスのため実質的な送信ができないので、このような場合には中継点を設け、信号を増幅および再生する。また10 mより短い場合には、必ずしもこのような光通信システムでなくても他に手段が存在する。

【 0 3 7 6 】

図73 (A), (B) は、本発明の長波長面発光レーザダイオードを用いたハイブリッド光集積回路デバイスへの応用例を示す、それぞれ平面図および断面図である。

【 0 3 7 7 】

図73 (A), (B) を参照するに、本実施例では、セラミック基板51上に前記長波長面発光レーザダイオードチップ32とフォトダイオードチップ34とが担持され、さらに前記セラミック基板51上には、前記レーザダイオード32中のレーザ素子32Aから出たレーザビームを伝送する、 $7 \times 7 \mu\text{m}$ の矩形断面を有し長さが1 cmの第1光導波路52と、前記フォトダイオードチップ34中の光ディテクタ部34Aに光学的に結合し、前記第1光導波路52と同様な、 $7 \mu\text{m} \times 7 \mu\text{m}$ の矩形断面形状と1 cmの長さを有し、前記光ディテクタ部34Bに光信号を供給する第2の光導波路53と形成されている。また前記セラミック基板51上には、前記フォトダイオードチップ34が形成した出力電気信号を増幅するプリアンプ51Aが形成されている。

【 0 3 7 8 】

さらに、コア径Dが $100 \mu\text{m}$ で長さが100 mの第1の光ファイバ54と、同じくコア径Dが $100 \mu\text{m}$ で長さが100 mの第2の光ファイバ55とが、接続モジュール56を介して、それぞれ前記第1の光導波路52および第2の光導波路53に光学的に結合するように設けられている。

【 0 3 7 9 】

さらに、前記光ファイバ54および55の他端には、前記面発光レーザダイオ

ードチップ 3 2 およびフォトダイオードチップ 3 4 を備えた接続モジュール 5 7 が、前記光ファイバ 5 4 が前記フォトダイオードチップ 3 4 の光ディテクタ部 3 4 A に、前記光ファイバ 5 5 が前記レーザダイオードチップ 3 2 のレーザダイオード素子 3 2 A に結合するように設けられる。

【 0 3 8 0 】

前記光導波路 5 3 および 5 4 は、シリコン基板 5 8 上に、フォトリソグラフィにより、それぞれのコアと、前記コアを包むクラッド層とを形成することにより形成され、前記シリコン基板 5 8 は、セラミック基板 5 1 上に、前記プリアンプ 5 1 A と並んで設けられる。

[第 1 2 実施例]

図 7 4 (A) , (B) は、本発明による長波長面発光レーザダイオードを用いた光通信システムで使用されるレーザダイオードチップ 1 2 0 の一例を示す。ただし図 7 4 (A) は平面図を、図 7 4 (B) は A - A ' での断面図をそれぞれ示している。なお、図 7 4 (A) と図 7 4 (B) の縮尺は同じではない。図中、先に説明した部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

【 0 3 8 1 】

図 7 4 (A) , (B) を参照するに、レーザダイオードチップ 1 2 0 上には長波長面発光レーザダイオード素子 3 2 A とそれに対応する受光素子 3 4 A とが、モノリシックに形成されている。

【 0 3 8 2 】

前記受光素子 3 4 A は長波長面発光レーザダイオード素子 3 2 A と同様な半導体積層構造を有しており、面発光レーザダイオード素子 3 2 A と同じ工程で一括して形成される。面発光レーザダイオード素子の半導体積層構造を逆バイアスまたは無バイアスで使用する事により、受光素子として使用することができる。この受光素子 3 4 A は、面発光レーザダイオード素子 3 2 A の発振波長に感度を有し、光検出が可能である。

【 0 3 8 3 】

図 7 4 (A) の平面図からわかるように、受光素子 3 4 A は、長波長面発光レ

ーザダイオード素子 3 2 A を取り囲むような形に形成されている。前記レーザダイオード素子 3 2 A の上面には上部電極 1 2 1 が形成されており、またレーザダイオードチップ 1 2 0 の下面には下部電極 1 2 3 が形成されている。また受光素子 3 4 A の上面には、別の上部電極 1 2 2 が形成されている。前記レーザダイオード素子 3 2 A の上部電極 1 2 1 には、光出力取り出し用の窓が形成されているが、受光素子 3 4 A の上部電極 1 2 2 には、このような窓は形成されていない。

【 0 3 8 4 】

図 7 5 は、図 7 4 に示したレーザダイオードチップ 1 2 0 の動作を説明する図である。

【 0 3 8 5 】

図 7 5 を参照するに、面発光レーザダイオードチップ 1 2 0 中のレーザダイオード素子 3 2 A は、光ファイバ 1 2 5 の端面に対向して、面発光レーザダイオード素子 3 2 A からの出射光が光ファイバのコアに入射するような位置に位置合わせされている。面発光レーザダイオード素子 3 2 A の側面からは、主たる発光方向に対して横方向に漏れ光が発生し、このような漏れ光は、隣接した受光素子 3 4 A により検出される。前記面発光レーザダイオード 3 2 A の側面からの漏れ光の量は多くはないが、図 7 5 の構成では受光素子 3 4 A は、面発光レーザダイオード素子 3 2 A を取り囲むように、近接して形成されているため、漏れ光を検出できる。なお、図 7 5 において受光素子 3 4 A 上には半導体分布ブラッグ反射鏡 1 8 や上部電極 1 2 2 が形成されているため、図示しない相手側から光ファイバ 1 2 5 中を伝送された光信号等は、図中の矢印で示されるように受光素子 3 4 A の上面で反射され、検出されない。

【 0 3 8 6 】

以上の様な構成及び動作説明より明らかなように、本実施例によれば、面発光レーザダイオードの出力検出用受光素子を面発光レーザダイオードチップ上に一体的に形成し、このようなレーザダイオードチップをセラミック基板 1 1 1 上に集積することにより、ハイブリッド構成の光通信システムを構成することが可能となる。

【 0 3 8 7 】

図 7 6 (A), (B) は、本発明による長波長面発光レーザダイオードを用いた光通信システムで使用される半導体レーザダイオードチップの他の例を示す。ただし図 7 6 (A) は平面図を、図 7 6 (B) は A - A' に沿った断面図をそれぞれ示している。なお、図 7 6 (A) と図 7 6 (B) の縮尺は同じではない。

【 0 3 8 8 】

図 7 6 (A), (B) を参照するに、レーザダイオードチップ上には、長波長面発光レーザダイオード素子 3 2 A と受光素子 3 4 A とがモノリシックに集積されている。前記受光素子 3 4 A は長波長面発光レーザダイオード素子 3 2 A と同様な半導体積層構造を有しており、面発光レーザダイオード素子 3 2 A と同じ工程で一括して形成される。受光素子 3 4 A は面発光レーザダイオード素子 3 2 A の波長に対して感度を有し、光検出が可能である。ただし本実施例では受光素子 3 4 A において上部半導体分布ブラッグ反射鏡 1 8 はエッチングにより除去されており、図 7 6 (A) の平面図からわかる様に、長波長面発光レーザダイオード素子 3 2 A を取り囲むような形に形成されている。各素子 3 2 A および 3 4 A の上面には光入出力用の窓が開いた上部電極 1 2 1 および 1 2 2 がそれぞれ形成されており、レーザダイオードチップ 1 2 0 の下面には下部電極 1 2 3 が形成されている。

【 0 3 8 9 】

図 7 7 は、図 7 6 に示したレーザダイオードチップの動作を説明する図である。

【 0 3 9 0 】

図 7 7 を参照するに、前記面発光レーザダイオードチップ 1 2 0 中においてレーザダイオード素子 3 2 A は光ファイバ 1 2 5 の端面に対向するように設けられており、前記レーザダイオード素子 3 2 A は面発光レーザダイオード素子 3 2 A からの出射光が光ファイバのコアに入射するよう位置合わせされている。

【 0 3 9 1 】

本実施例では、前記面発光レーザダイオード素子 3 2 A や受光素子 3 4 A の側面は上部電極 1 2 1 あるいは 1 2 2 で覆われているため、素子側面において漏れ光が生じることはない。

【 0 3 9 2 】

そこで、図示しない相手側からの光信号を担持する光ビームが前記光ファイバ 1 2 5 を通って入来すると、前記光ファイバ 1 2 5 の端面を出射した光ビームは図中に矢印で示すように受光素子 3 4 A の上面に広がりながら入射し、面発光レーザダイオード 3 2 A を取り囲む形で形成された受光素子 3 4 A で検出される。一方、前記面発光レーザダイオード 3 2 A の上面には半導体分布ブラッグ反射鏡 1 8 が形成されており、このため入射光ビームは前記面発光レーザダイオード 3 2 A 内部にはほとんど侵入しない。

【 0 3 9 3 】

以上の様な構成及び動作より明らかなように、本実施例によれば、面発光レーザダイオード素子 3 2 A の出力検出用受光素子 3 4 A を、面発光レーザダイオードチップ 1 2 0 上に一体的に形成し、かかるレーザダイオードチップ 1 2 0 をセラミック基板 1 1 1 上に集積化することにより、ハイブリッド構成の光送受信部を備えた光通信システムを構成することが可能となる。

なお上記実施例に示した面発光レーザダイオードと受光素子の組み合わせは、あくまでも一例であり、これを複数並べてアレイ化を形成したり、面発光レーザダイオード素子 3 2 A の出力検出用受光素子 3 4 A と入射光検出用の受光素子 3 4 A とを組み合わせた構成も、本発明の範疇に入るものである。また当然ではあるが、本発明は上記実施例に示した面発光レーザダイオード素子と受光素子の互いの位置関係や形状に限定されるものではない。

[第 1 3 実施例]

次に本発明のさらに他の例について説明する。

【 0 3 9 4 】

ところで、本発明における $1.1 \sim 1.7 \mu\text{m}$ の長波長面発光型レーザの実現には、高歪の GaInAs 、 GaInNAs 、 GaAsSb 活性層を使うことが重要であり、そのためには、レーザダイオードダイオードに印加される機械的ストレス最小化する必要がある。このような機械的ストレスとしては、システムの使用温度環境やレーザダイオード、駆動回路等の発熱に起因してレーザダイオ-

ドと実装基板との間に生じる熱応力が挙げられる。このような熱応力は、線膨張係数が異なる材料が互いに固定されている構造物において温度変化が生じた場合に、その構造物が元の形状を保持しようとして発生するものであり、その大きさは温度変化や構成材料の線膨張係数、ヤング率などに依存している。このような熱応力を発生させないようにするには、レーザダイオードを含むモジュール全体の温度を制御することも考えられるが、このような温度制御機構を設けると費用が増大してしまい、実用上、温度を完全に一定に制御するのは困難である。

【 0 3 9 5 】

従って、低コストで信頼性の高いシステムを提供するためには、実装基板の材料として、レーザダイオードの線膨張係数を近いものを用い、熱応力によるレーザダイオードへの影響を小さくすることが望ましい。

【 0 3 9 6 】

本実施例ではこの点に鑑み、各種線膨張係数の異なる材料によって実装基板を製作し、実際のレーザ発振時に発生する熱応力およびそれにとまなうレーザの出力特性について検討を行った。使用した面発光型レーザは、図 1 に示すものであり、発振波長は $1.3 \mu\text{m}$ のものを使用した。また、チップサイズは、 $5 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ （厚さ 0.6 mm ）で、 $300 \mu\text{m}$ ピッチで 1 列に 20 個のレーザ素子を形成したものを使用した。一方実装基板のサイズは $10 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$ （厚さ 2 mm ）とした。

【 0 3 9 7 】

表 5 にその結果を示す。表中、○は $0 \sim 70^\circ\text{C}$ の使用環境において安定出力が得られたもの、×は安定出力が得られず、実用に供さないものをあらわしている。

【 0 3 9 8 】

【表 5】

材料	線膨張係数	レーザの出力特性
石英ガラス	$0.3 \times 10^{-6} / K$	×
スミクリスタル	$2 \times 10^{-6} / K$	×
CVDダイヤモンド	$2 \times 10^{-6} / K$	×
Si	$4 \times 10^{-6} / K$	○
SiC	$4 \times 10^{-6} / K$	○
AlN	$5 \times 10^{-6} / K$	○
GaAs	$6 \times 10^{-6} / K$	○
Al-Si(60Al-40Si)	$15 \times 10^{-6} / K$	×
Cu	$17 \times 10^{-6} / K$	×

本発明のレーザダイオードの線膨張係数は $6 \times 10^{-6} / K$ である。よって上記結果より、レーザダイオードと実装基板の線膨張係数の差が約 $2 \times 10^{-6} / K$ 以内であれば、レーザ発振時に発生する熱応力およびそれにとまなうレーザの出力特性が安定しており、実用的であることがわかる。中でも Si, SiC, GaAs, AlN は、材料入手しやすさ、実装基板としての製作・加工のしやすさの面からも特に好適に利用できる材料である。

【0399】

また実装基板を固定している放熱部材についても、レーザダイオードの線膨張係数に近いものを選ぶことによって実装基板への歪みが小さくなり、結果的にレーザダイオードに与える機械的ストレスも軽減される。更に、放熱部材を構成する材料は、熱伝導率が高いことが要求される。

【0400】

本発明ではこの点に鑑み、各種熱伝導率の異なる材料によって放熱部材を製作

し、実際のレーザ発振時に発生する熱によるレーザの出力特性について検討を行った。

【0401】

使用した面発光型レーザは、上記実装基板検討時のものと同じであり、実装基板としては、先に説明した実装基板と同じサイズのSiC基板を使用した。

【0402】

表6にその結果を示す。ただし表4中、○は0～70℃の使用環境において安定出力が得られたもの、×は安定出力が得られず、実用に供さないものをあらわしている。

【0403】

【表6】

材料	熱伝導率	レーザの出力特性
SiO ₂	～8W/mK	×
アルミナ(Al ₂ O ₃)	～17W/mK	×
コバール	～17W/mK	×
AlN	～200W/mK	○
Cu/W	180～200W/mK	○
W	～170W/mK	○
Mo	～160W/mK	○
Cu	～390W/mK	○

本発明のレーザダイオードの熱伝導率は55W/mKである。よって上記結果より、本発明のレーザダイオードの熱伝導率より放熱部材の熱伝導率が高い場合に、良好な結果が得られることがわかる。すなわち、放熱部材の熱伝導率が本発明のレーザダイオードの熱伝導率より大きい場合、レーザ発振時に発生する熱が実装基板に伝わり、その後レーザダイオード側に戻ることなく放熱部材に伝わ

るので、熱を効率よく逃がすことができる。よって蓄熱にともなうレーザの出力特性変動は生じず、安定した実用的な特性が得られる。中でもAlN, Cu/W, W, Mo, Cuなどの材料は容易に入手でき、放熱部材としての製作、加工のしやすさの面からも特に好適に利用できる材料である。

【0404】

特にCu/Wは、組成比を制御し熱伝導を上記の範囲に設定することで、後で図79において説明するパッケージ基板として用いることができ、非常に好ましい。

【0405】

以下に、このような部材を用いた本実施例による光通信システムを説明する。

【0406】

通信システムは、一般に面発光レーザダイオードとその駆動回路を有する光送信部、面型受光素子とその駆動回路を有する光受光部、及びそれらの間の伝送経路として作用する光ファイバまたは光導波路から構成されている。

【0407】

レーザダイオード及び面型受光素子の駆動回路は、それぞれの素子と同一の実装基板上に実装されるか、あるいはレーザダイオード素子形成基板に、ウエハプロセスにより、レーザ素子形成と同様に形成されている。また光伝送経路の両側に光送信部と光受光部を備えることで、双方向の通信を行う光通信システムが実現できる。

【0408】

図78に、このような光通信システムの光送信部の一例を示す。ただし図中、先に説明した部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

【0409】

図78を参照するに、前記光送信部は、面発光レーザダイオードチップ32と、前記レーザダイオードチップ32を駆動する駆動回路32DRと、これらが実装される実装基板131と、前記実装基板131を支持し、前記レーザダイオード32の位置調整と放熱を行う放熱部材132と、前記放熱部材132を保持し、ヒートシンク及び放熱フィンとして用いられる金属パッケージ133と、光伝

送路を構成する光ファイバ 1 3 4 とから構成される。前記金属パッケージ 1 3 3 と放熱部材 1 3 2, および実装基板 1 3 1 は、半田または樹脂により機械的及び熱的に接続されている。また、レーザダイオード 3 2 と駆動回路 3 2 D R とは、ワイヤボンディング等により電氣的に接続されている。

【 0 4 1 0 】

前記レーザダイオードチップ 3 2 は例えば図 1 の構成を有するレーザダイオード素子を含み、前記レーザダイオード素子は、例えば $1.2 \mu\text{m}$ で発振するものであってもよい。一方、実装基板 1 3 1 としては、線膨張係数が $4 \times 10^{-6} / \text{K}$ の Si 基板を用いることができる。この場合、レーザダイオード 3 2 は前記実装基板 1 3 1 上に Au Sn 半田でダイボンディングされ、電極と電氣的機械的接続がなされる。

【 0 4 1 1 】

前記 Si 基板 1 3 1 の表面には 200 nm の厚さの SiO_2 膜が形成されている。この SiO_2 膜は、熱酸化であっても、また CVD 法や SOG 法により形成した SiO_2 膜であっても良い。前記酸化膜は絶縁のために用いているが、放熱特性が Si より劣るため、絶縁性が十分な範囲でできるだけ薄いのが望ましく、必要がなければ形成しなくともよい。前記レーザダイオードチップ 3 2 と共に、これを駆動する駆動回路 3 2 D R も同じ実装基板 1 3 1 上に固定されている。この実装基板を固定する放熱用部材としては、熱伝導性が高く線膨張係数の整合に優れた AlN (線膨張係数 $5 \times 10^{-6} / \text{K}$, 熱伝導率 $200 \text{ W} / \text{mK}$) を用いることができる。金属パッケージ 1 3 3 には、Cu/W の粉体成型品を用いることができる。その際、前記金属パッケージ 1 3 3 を構成する Cu/W 成型は $89 \text{ W} - 11 \text{ Cu}$ の組成を有し、線膨張係数は $6.5 \times 10^{-6} / \text{K}$, 熱伝導率は $180 \text{ W} / \text{mK}$ であった。このような粉体成型品は安価な費用で高い寸法精度が得られ、また放熱フィン形状など容易に形成でき、効率的な放熱が実現できる。

【 0 4 1 2 】

図 7 8 の例では光ファイバ 1 3 4 として、コア径 $50 \mu\text{m}$ のマルチモード光ファイバを前記レーザダイオードチップ 3 2 中のレーザダイオード素子 3 2 A と光学的に接続している。このような光通信システムの安定性を $0 \sim 70^\circ\text{C}$ の使用環

境において検討したところ、レーザ出力も安定で、特性変化がなく、寿命劣化もなく、良好な光通信システムが得られることがわかった。

【0413】

なお、前記Si基板の代わりにGaAs（線膨張係数 $6 \times 10^{-6} / \text{K}$ ）やAlN（線膨張係数 $5 \times 10^{-6} / \text{K}$ ）、あるいはSiC（線膨張係数 $4 \times 10^{-6} / \text{K}$ ）基板を実装基板133として用いることもできる。AlN基板やSiC基板を使う場合には、これらの基板は絶縁性基板であるため、酸化膜の形成は不要である。それ以外は上記と同じ構造とすればよい。取り扱いやコストの点で、SiやAlNが実装基板としては好ましい。

【0414】

また放熱部材として、AlNの代わりに89W-11Cuや85W-15Cu、80W-20CuのCu/W（これらの線膨張係数は、 $6 \sim 8 \times 10^{-6} / \text{K}$ 、熱伝導率は $180 \sim 200 \text{ W/mK}$ であった）、あるいはW、Mo、Cuを用いても良好な結果が得られる。

【0415】

なお図78の例では、送信部のレーザダイオードチップ32内には単一のレーザダイオード素子が設けられているものとして説明したが、本発明の実装基板材料や放熱部材は、前記レーザダイオードチップ32中に複数のレーザダイオード素子のアレイを形成することにより、あるいはレーザダイオードチップ32のアレイを形成することにより、大容量光通信システムを構築する場合に特に適している。

【0416】

例えば単一のチップ32上に複数のレーザ素子32Aを形成したマルチレーザアレイチップの場合、複数のレーザ素子が近接して形成されているため、レーザ発振による熱発生およびその蓄熱による熱応力、さらに熱応力によるレーザ出力特性の変動が問題となる。さらにこのようなチップ上には、レーザ素子駆動回路32DRも同時に形成することがあり、かかる駆動回路32DRから発生する熱も重畳され、よりいっそう深刻な状況が生じる。本実施例では、そのような場合であっても、前記実装基板131の材料や放熱部132の材料を適切に選ぶこと

により、何ら問題を生じることなく、安定したレーザ出力が得られる。

【 0 4 1 7 】

なお、従来は本発明のような発振波長が $1.1 \sim 1.7 \mu\text{m}$ の面発光レーザダイオード素子が存在しなかったため、これを用いた通信システムやこのような長波長帯域の面発光レーザダイオードチップの実装時における技術課題が明らかにされていなかった。今回、本発明の発明者は、本発明によって初めて具体的な技術課題を認識し、またその解決手段を提供した。

【 0 4 1 8 】

以上の説明では、レーザダイオードチップ 3 2 と光結合される光伝送路をマルチモード光ファイバとしたが、この光伝送路は、光導波路やシングルモード光ファイバ、あるいはプラスチック光ファイバなどでも構わない。本発明のレーザダイオードは、ペルチェ素子モジュールのような高コストの放熱部材を用いる必要はないが、これらの放熱部材を使うことも、勿論可能である。

【 0 4 1 9 】

次に、本発明の他の実施例を図 7 9 に示す。ただし図 7 9 中、先に説明した部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

【 0 4 2 0 】

図 7 9 を参照するに、本実施例も図 7 8 の実施例と同様に、光通信システムの光送信部を示している。ただし、本実施例では、前記放熱部材 1 3 2 が、金属パッケージ 1 3 3 を兼用している。

【 0 4 2 1 】

図示の光送信部は、1 枚のチップ上に複数のレーザダイオード素子をアレイ化したレーザアレイチップ 3 2 と、前記レーザダイオード素子を駆動する駆動回路 3 2 D R と、これらが実装される実装基板 1 3 1 と、前記実装基板 1 3 1 を固定し、ヒートシンク及び放熱フィンとして用いられる金属パッケージ 1 3 3 と、光伝送路を構成する光ファイバ 1 3 4、および前記光ファイバ 1 3 4 を固定しているフェルール 1 3 5 とから構成される。前記金属パッケージ 1 3 3 と実装基板 1 3 1 とは半田または樹脂により機械的及び熱的に接続されている。また、レーザダイオードチップ 3 2 と駆動回路（図示せず）とは、ワイヤボンディング等によ

り電氣的に接続されている。

【0422】

図示の例では、レーザダイオードとして図10に示す発振波長が $1.3\mu\text{m}$ のものを用い、対向する光ファイバの配列ピッチと同じ $250\mu\text{m}$ のピッチで4個の素子を配列した。先の実施例と同様に、実装基板としてはSi基板を用い、レーザダイオードをAuSn半田で前記実装基板上にダイボンディングし、さらに電極を電氣的および機械的に接続した。

【0423】

前記Si実装基板表面には厚さが 200nm の SiO_2 膜が熱酸化処理により形成されているが、かかる酸化膜はCVD法やSOG法で形成しても良い。また前記酸化膜は絶縁膜として設けられているが、放熱特性がSiより劣るため、絶縁性が十分な範囲でできるだけ薄いのが望ましく、必要がなければ形成しなくともよい。同様にレーザダイオードを駆動する駆動回路（図示されていない）も同じく前記実装基板上に設けられる。

【0424】

さらに前記実装基板を保持する、放熱用部材をかねた金属パッケージとしては、Cu/Wの粉体成型品を用いた。前記金属パッケージの組成比は $89\text{W}-11\text{Cu}$ で、線膨張係数は $6.5\times 10^{-6}/\text{K}$ であり、レーザダイオード及び実装基板の線膨張係数と近い値を有する。また熱伝導率は $180\text{W}/\text{mK}$ であった。このような粉体成型品は、低コストで高い寸法精度が得られ、また放熱フィン形状に容易に形成でき、効率的な放熱構造を形成できる。

【0425】

前記光伝送路としては、コア径 $50\mu\text{m}$ のマルチモード光ファイバを $250\mu\text{m}$ ピッチで配列したものを用い、レーザダイオードと光学的に接続を行った。このような光通信システムを $0\sim 70^\circ\text{C}$ の使用環境において検討したところ、レーザ出力も安定で特性変化がなく、寿命劣化もなく、良好な光通信システムが可能となった。金属パッケージが放熱部材をかねているため、部品点数が少なく、放熱効率も高いシステムが構築できた。

【0426】

なお S i 基板の代わりに G a A s 基板や A l N 基板、あるいは S i C 基板を実装基板として用いた場合も、同様に良好な結果が得られる。A l N や S i C 基板の場合は、絶縁性基板であるため、酸化膜の形成は不要である。それ以外は、上記と同様であり、説明を省略する。

【 0 4 2 7 】

本実施例では 4 個のレーザダイオードと 4 本の光ファイバが使われているが、本発明はこの特定の構成に限定されるものではなく、レーザダイオードが 1 個で光ファイバが 1 本の場合、あるいはレーザダイオードが 8, 1 2, 1 6 個で、光ファイバも対応して 8 本、1 2 本、1 6 本などの場合にも有効である。

【 0 4 2 8 】

特に本発明の面発光レーザダイオードの特徴を活かして 1 枚のチップ上に複数のレーザ素子を形成したマルチレーザアレイチップの場合は、簡単に多数のレーザ素子を形成できるため、大容量通信用に最適であるが、熱の問題が重要となるため、本発明のような実装基板材料や放熱部材を適切に選ぶことにより、何ら問題が発生することなく、安定したレーザ出力を得ることが可能である。

【 0 4 2 9 】

またレーザダイオードと光結合させる光伝送路も、マルチモードファイバとしたが、光導波路やシングルモード光ファイバ、プラスチック光ファイバなどでも構わない。

〔第 1 4 実施例〕

次に本発明のさらに他の実施例による長波長面発光レーザダイオードを用いた通信システムについて、図 8 0 を参照しながら説明する。ただし図 8 0 中、先に説明した部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

【 0 4 3 0 】

図 8 0 を参照するに、長波長面発光レーザダイオードを用いた通信システムは、レーザダイオードチップ 3 2 を搭載したレーザモジュール 1 4 1 と、光ファイバ 1 4 2 を固定するフェルール 1 4 2 A と、前記フェルール 1 4 2 A を光ファイバ 1 4 2 と共に収納するアダプタハウジング 1 4 3 と、光ファイバ 1 4 2 を固定

するブッシュ 1 4 4 と、ブッシュ 1 4 4 を収納するハウジング 1 4 5 と、前記アダプタハウジング 1 4 3 とレーザモジュール 1 4 1 およびハウジング 1 4 3 とを一体的に保持するベース 1 4 6 とで構成されている。その際、図 8 0 の構成では、前記光ファイバ 1 4 2 の A 点から B 点までの長さを、図中のアダプタハウジング 1 4 3 のレーザダイオードチップ 3 2 側の端面から、ハウジング 1 4 5 の端面までの距離 L（固定長さ）よりも長く設定してある。

【 0 4 3 1 】

より具体的には、図 8 0 で前記固定長さ L を 1 とした場合、前記光ファイバ 1 4 2 の長さ A - B を 1. 0 5 としている。このように光ファイバ 1 4 2 はアダプタハウジング 1 4 3 とハウジング 1 4 5 との間で撓みを持たせ、それ自体に弾性力を持たせることにより、光ファイバ 1 4 2 はレーザダイオードチップ 3 2 の発光部 3 2 A に向って軸方向（図では左方向）に力が作用するように押圧され、両者の機械的接続が安定化される。その結果、本実施例では良好な光学的結合が得られる。なお、ここでは光ファイバ 1 4 2 としてプラスチック製光ファイバを用いたが、外周にプラスチック被覆した石英ガラスファイバを用いてもよい。

【 0 4 3 2 】

図 8 1 は、図 8 0 の固定長さ L を 1 に設定し光ファイバ長さ A - B を 2 に設定した場合を示す。他の構成は図 8 0 と同じである。本実施例では図 8 0 のものに比べてより大きな弾性力が得られ、レーザ素子と光ファイバとの接続がより確実になる。

【 0 4 3 3 】

図 8 2 は、図 8 0 あるいは 6 4 の構成の光通信システムで使われるアダプタハウジング 1 4 3 の構成を示す断面図である。

【 0 4 3 4 】

図 8 2 を参照するに、前記アダプタハウジング 1 4 3 は、テーパ形状の割りスリーブ 1 4 3 1 と、光ファイバ 1 4 2 を固定するフェルール 1 4 2 A と、前記フェルール 1 4 2 に前記割りスリーブ 1 4 3 1 を介して軸方向の押圧力を印加する形状記憶合金製のコイルバネ 1 4 3 2 と、前記コイルバネ 1 4 3 2 に協働するカラー 1 4 3 3 と、前記割りスリーブ 1 4 3 1 とコイルバネ 1 4 3 2 およびカラー

1 4 3 3 を収納するプラグハウジング 1 4 3 4 と、前記プラグハウジング 1 4 3 4 をアダプタハウジング 1 4 3 に結合する結合子 1 4 3 5 とを含む。

【 0 4 3 5 】

前記コイルバネ 1 4 3 2 は通常温度あるいは加温状態で初期形状による弾性力を生じ、例えば冷却に伴って延伸し、フェルール 1 4 2 A をフェールの軸方向に押圧する。結合子 1 4 3 5 の設計によっては、高温側でさらにコイルバネ 1 4 3 2 が伸びるように形状を記憶させることも可能である。

【 0 4 3 6 】

図 8 3 は、図 8 2 の構成の一変形例を示す。ただし図 8 3 中、先に説明した部分に対応する部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

【 0 4 3 7 】

図 8 3 を参照するに、本実施例では前記形状記憶合金製のコイルバネ 1 4 3 2 が形状記憶合金製板バネ 1 4 3 2 A に置き換えられており、前記板バネ 1 4 3 2 A は通常温度あるいは加温状態では初期形状による弾性力を生じ、例えば冷却に伴って延伸し、フェルール 1 4 2 を光ファイバ 1 4 2 の軸方向に押圧する力を発生する。結合子 1 4 3 5 の設計によっては、高温側で板バネ 1 4 3 2 A が伸びるように形状を記憶させることも可能である。

【 0 4 3 8 】

なおここではバネ 1 4 3 2 あるいは 1 4 3 2 A として形状記憶合金を使った例を説明したが、本発明ではバネ 1 4 3 2 あるいは 1 4 3 2 A が必ずしも形状記憶合金である必要はなく、形状記憶プラスチックのようなものであってもよい。このような接続モジュールでは、光通信システムを組み立てる際の温度（一般に室温より高い温度）と、それが実際に使われる温度（室温）とで温度差が存在する。そこでこの温度差によって、このような形状記憶部材は形状を変え、本発明のような構造体に組み込まれた状態において弾性力を発生する。なおこの温度差の違い（システムを組み立て時とそれが実際に使われている時の温度）は逆であってもよい。

【 0 4 3 9 】

図 8 4 は、本実施例による長波長面発光レーザダイオードを用いた通信システ

ムの別の例を示す。ただし図 8 4 中、先に説明した部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

【0 4 4 0】

図 8 4 を参照するに、本実施例の通信システムは、レーザダイオードチップ 3 2 を搭載したレーザモジュール 1 4 1 と、光ファイバ 1 4 2 を固定するフェルール 1 4 2 A と、前記フェルール 1 4 2 A を光ファイバ 1 4 2 と共に収納するアダプタハウジング 1 4 3 と、前記光ファイバ 1 4 2 の一部を保持し固定する固定装置 1 4 7 と、前記アダプタハウジング 1 4 3 と前記固定装置 1 4 7 とレーザモジュール 1 4 1 とを一体的に固定化するベース 1 4 6 とで構成される。その際、図 8 4 の通信システムでは、前記光ファイバ 1 4 2 はアダプタハウジング 1 4 3 と光ファイバ固定装置 1 4 7 との間で撓みを与えられている。

【0 4 4 1】

前記光ファイバ固定装置 1 4 7 は摩擦つかみ圧縮を利用した装置であり、形状記憶合金製圧縮バネ 1 4 7 1 とこれに協働するカラー 1 4 7 2、および別のカラー 1 4 7 3、さらに前記カラー 1 4 7 2 と 1 4 7 3 との間に配置したされた球 1 4 7 4、および前記球 1 4 7 4 に接する円錐状面を有するハウジング 1 4 7 5 とを含み、前記ハウジング 1 4 7 5 内には、光ファイバ 1 4 2 を保持するフェルール 1 4 2 B と割りスリーブ 1 4 7 6 とが、前記カラー 1 4 7 2 と前記割りスリーブ 1 4 7 6 との間に形状記憶合金圧縮バネ 1 4 7 1 が介在するように収納されている。

【0 4 4 2】

かかる構成の光通信システムでは、前記光ファイバ 1 4 2 が熱変形で伸びようとする力は左右に働くが、光ファイバ固定装置内 1 4 7 では圧縮バネ 1 4 7 1 により球 1 4 7 4 が右側に押され、光ファイバ 1 4 2 をしっかり保持するため、光ファイバ 1 4 2 右側へは動かず、反対側のアダプタハウジング側に弾性力を及ぼす。

【0 4 4 3】

前述の図 8 0 の例では、光ファイバ 1 4 2 に撓みが与えられ、光ファイバ 1 4 2 は前記撓みに伴う弾性力によって光ファイバ 1 4 2 をレーザダイオードチップ

3 2 の側に押圧するものであるが、図 8 4 に示した例は、光ファイバ 1 4 2 の弾性力に形状記憶部材よりなるバネ 1 4 7 1 による弾性力を重畳させ、より効果的に光ファイバ 1 4 2 をレーザダイオードチップ 3 2 の方向に押し付けることが可能になる。

【 0 4 4 4 】

図 8 5 は、各々が図 8 2 に示す、テーパ形状の割リスリーブ 1 4 3 1 と、光ファイバ 1 4 2 を保持するフェルール 1 4 2 A と、前記フェルール 1 4 2 A に軸方向の押圧力を印加するコイルバネ 1 4 3 2 と、カラー 1 4 3 3 と、前記割リスリーブ 1 4 3 1 とコイルバネ 1 4 3 2 とカラー 1 4 3 3 とを収納するプラグハウジング 1 4 3 4 と、フェルール 1 4 2 B とプラグハウジング 1 4 7 5 とを収納するアダプタハウジング 1 4 3 とよりなる光コネクタを、前記このアダプタハウジングとプラグハウジングを結合する結合子 1 4 3 5 とよりなる二つの光コネクタを、前記アダプタハウジング 1 4 3 を相互に固定ネジ 1 4 3 6 により固定した構成の断面図を示す。

【 0 4 4 5 】

図 8 2 の構成において、前記コイルバネ 1 4 3 2 は通常温度において初期形状による弾性力を生じる。そこで、温度変化により前記コイルバネ 1 4 3 2 は延伸し、前記フェルール 1 4 2 A を光ファイバ 1 4 2 の軸方向に押圧し、その結果二つのファイバが効果的に接続される。この例でも、前記形状記憶部材のかわりに、形状記憶合金、形状記憶プラスチックなどが利用できる。上記説明ではバネとして形状記憶部材を使用する例を示したが、通常のパネ材料であるりん青銅や、あるいはウレタンゴム等の弾性体を用いても良い。このような汎用の材料を利用すると低コストなモジュールとすることができる。

〔第 1 5 実施例〕

次に本発明のさらに他の例について説明する。

【 0 4 4 6 】

図 8 6 は本発明の面発光レーザダイオードを用いた光通信システムで使われる光送信部の構成例を示す。ただし図 8 6 中、先に説明した部分には同一の参照符

号を付し、説明を省略する。

【0447】

図86を参照するに、本実施例では、実装基板131上に複数の光ファイバ142を保持するコネクタ基板151が、前記複数の光ファイバ142の各々が、アレイを構成する複数の面発光レーザダイオード32の対応する一つと対向するように設けられている。また、前記コネクタ基板151上には、前記面発光レーザダイオードダイオード32の光パワーをモニタする複数の受光素子142Pが、前記複数の光ファイバ142にそれぞれ対応して設けられている。前記受光素子142Pの各々は、対応する面発光レーザダイオード32に対向するように設けられ、出射される光ビームを検出する。

【0448】

なお図86では、面発光レーザダイオードチップ32、光ファイバ142、モニタ用の受光素子142Pがアレイ状に1次元に並んでいる様子を図示しているが、2次元状に実装用基板に配置されていても同様の効果を示す。またこの図では、各レーザダイオードが1個ずつ独立したチップ32として示されているが、これらは単一のチップ32上に形成された複数のレーザダイオード素子32Aにより構成してもよい。

【0449】

なお図86では、図が煩雑になるので面発光レーザダイオード32の駆動回路やモニタ用受光素子から得た信号を用いてレーザ出力を制御するレーザ出力制御（安定化）回路は図示していない。

【0450】

図86の例では、コネクタ基板151は光ファイバ142を保持するとともに、コネクタガイド151Aを用いて実装用基板131上に装着されている。

【0451】

各々の光ファイバ142は、前記コネクタ基板面151に設けられた貫通孔中に保持され、レーザダイオードチップ32のレーザダイオード素子32Aに光ファイバ142の端面が相對するようになっており、また各レーザダイオード素子32Aと光ファイバ142とは互いの光軸が合うように位置決めされている。ま

たコネクタ基板 1 5 1 面の光ファイバ挿入用孔の近傍に、前記モニタ用受光素子 1 4 2 P が配置されている。

【 0 4 5 2 】

ここで、面発光レーザダイオード素子 3 2 A から出射したレーザ光は、その大部分が対向する光学的に整合した光ファイバ 1 4 2 に注入せる。また光ファイバ 1 4 2 に入射しなかったレーザ光の一部が、前記受光素子 1 4 2 P に入射する。

【 0 4 5 3 】

図 8 7 は、図 8 6 に示したモニタ用受光素子 1 4 2 P を使って、面発光レーザダイオード 3 2 の出力を安定化させる制御系のブロック図を示す。

【 0 4 5 4 】

図 8 7 を参照するに、データ信号（電気信号）が供給されるレーザ駆動回路 1 6 1 により前記面発光レーザダイオード 3 2 が駆動され、レーザ光が形成される。形成されたレーザ光の一部は、もれ光として前記モニタ用受光素子 1 4 2 P に入射し、前記受光素子 1 4 2 P の出力電気信号がフィードバック制御回路 1 6 2 に供給され、前記フィードバック制御回路 1 6 2 は、前記受光素子 1 4 2 P の出力電気信号の変動を打ち消すようにレーザ駆動回路 1 6 1 をフィードバック制御する。

【 0 4 5 5 】

なお、前記モニタ用受光素子 1 4 2 P に入射するレーザ光の光強度は、レーザ出力の変動分を検出してフィードバック制御できさえすればよいから、大きい必要はない。遠距離伝送の観点からは、面発光レーザダイオードのレーザ光の大部分がデータを光信号として伝送する光ファイバに入射されるのが好ましいが、本実施例に示すような光ファイバ 1 4 2 の入射端近傍でのもれ光、すなわち光ファイバ 1 4 2 に入射しなかったわずかなレーザ光を用いた面発光レーザダイオードのレーザ光出力制御であっても十分に実用的である。

【 0 4 5 6 】

次に、本発明の別の実施例を図 8 8 に示す。

【 0 4 5 7 】

図 8 8 を参照するに、本実施例でも前記モニタ用受光素子 1 4 2 P は、面発光

レーザダイオードチップ 3 2 とコネクタ基板 1 5 1 との間で、かつ面発光レーザダイオードチップ 3 2 に対向する光ファイバ 1 4 2 の入射端近傍に形成されている。なお、図 8 8 でも図 8 6 と同様に、面発光レーザダイオード 3 2 と光ファイバ 1 4 2 とモニタ用の受光素子 1 4 2 P が 1 次元のアレイ状に配列している様子を図示しているが、本実施例はかかる特定の構成に限定されるものではなく、実装用基板 1 3 1 上に 2 次元状に配置されていても同様の効果を奏する。また上記説明と同様に、この図では各レーザダイオードが 1 個ずつ独立したチップ 3 2 として描かれているが、単一のチップ 3 2 上に複数のレーザダイオード発光部 3 2 A をモノリシックに形成した構成としてもよい。なお図が煩雑になるので面発光レーザダイオードの駆動回路やレーザ出力制御回路は図示していない。

【 0 4 5 8 】

図 8 8 の例では、図 8 6 の場合と異なり、モニタ用受光素子 1 4 2 P は実装用基板 1 3 1 とコネクタ基板 1 5 1 の間に、支持部材 1 4 2 Q を介して配置されている。

【 0 4 5 9 】

次に、本発明の別の実施例を図 8 9 に示す。

【 0 4 6 0 】

図 8 9 を参照するに、モニタ用受光素子 1 4 2 P は面発光レーザダイオードチップ 3 2 と共に実装用基板 1 3 1 上に配置されており、前記コネクタ基板 1 5 1 で反射したレーザ光の一部を受光する。なお、この例のようにモニタ用受光素子 1 4 2 P を面発光レーザダイオードチップ 3 2 と共に、前記実装用基板 1 3 1 上に配置しても良いが、本発明に良好に適用できる面発光レーザダイオードの特徴を活かし、単一のレーザダイオードチップ 3 2 上に複数のレーザダイオード発光部 3 2 A を形成し、その際、前記チップ 3 2 上において各レーザダイオード発光部 3 2 A の隣にモニタ用受光素子 1 4 2 P をモノリシックに形成してもよい。

【 0 4 6 1 】

後者の構成によれば、レーザダイオードチップ上において各々のレーザダイオード発光部 3 2 A とモニタ用受光素子 1 4 2 P とを同時に形成するので、コンパクトで高精度に形成でき、しかも組み立て費用を低減させることができる。図 8

9においても、面発光レーザダイオード32の駆動回路やレーザ出力制御回路は、簡単のため図示を省略している。

【0462】

本実施例では、前記面発光レーザダイオード素子32から出射したレーザビームは、その大部分が対向する光学的に整合した光ファイバ142に注入される。その際、光ファイバ142に入射しなかったレーザビームの一部がコネクタ基板151の下面で反射され、レーザダイオード素子32に隣接して形成されている受光素子142Pに入射する。このように、本実施例でも前述の実施例と同様に、光ファイバ142の入射端近傍でのもれ光、すなわち光ファイバ142に入射しなかったレーザビームを用いて面発光レーザダイオード32のレーザ光出力制御が可能である。

【0463】

次に、本発明の別の実施例を図90に示す。

【0464】

図90を参照するに、本実施例でもレーザダイオード32とモニタ用受光素子142Pの配置は図89の場合と同じであるが、コネクタ基板151で反射するレーザビームの反射効率が向上するように、前記コネクタ基板151の下面に反射板151Rを設けている点で異なっている。

【0465】

このような反射板151Rは、例えばコネクタ基板151の下面、すなわち前記レーザダイオード素子32と対面する側に、Al、Ag、Au等の金属薄膜を形成しておけばよい。特に長波長のレーザビームを効率良く反射するためには、Auよりなる金属薄膜を設けるのが好ましい。

【0466】

本実施例でも前述の実施例と同様に光ファイバ近傍でのもれ光、すなわち光ファイバに入射しなかったレーザ光を用いて面発光レーザダイオードのレーザ光出力制御が可能である。また反射板作用を付加しているので、より少ないもれ光であっても、精度良く制御可能である。

[第 1 6 実施例]

次に本発明のさらに他の実施例について説明する。

【0 4 6 7】

図 9 1 は長波長面発光レーザダイオードを用いた通信システムの一例であり、当該面発光レーザダイオードチップ 3 2，あるいは前記チップ 3 2 を収容するモジュールパッケージ 7 1 から延出する光ファイバ 7 2 を、通信用光ファイバ 7 3 に接続する光コネクタ 1 7 1 の構成を示す。図 9 1 中、先に説明した部分に対応する部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

【0 4 6 8】

図 9 1 を参照するに、モジュールパッケージ 7 1 から引き出される光ファイバ 7 2 は、通信用光ファイバ 7 3 と、光コネクタ 1 7 1 によって接続される。

【0 4 6 9】

その際、前記光コネクタ 1 7 1 中において接合部に空気層が存在すると、空気層の屈折率は光ファイバ 7 2 あるいは 7 3 の屈折率と異なるため、反射が発生する。このような光ファイバ接続部の屈折率変動を抑制するために、ジェル状の屈折率整合剤を注入する方法や、光ファイバどうしを完全密着させる PC (Physical Contact) 接続が提案されているが、本実施例は、前記 PC 接続により、光ファイバの接続を行う。

【0 4 7 0】

図 9 1 に示すように、光コネクタ 1 7 1 中において、前記光ファイバ 7 2 および 7 3 は、破損を防止するため、それぞれフェルール 7 2 F および 7 3 F 中に接着固定されている。一般にフェルール 7 2 F あるいは 7 3 F は、円筒状の強度の高いジルコニアセラミックより構成され、中空部に光ファイバ 7 2 あるいは 7 3 を接着固定する。さらに前記フェルール 7 2 F および 7 3 F は、前記光コネクタ 1 7 1 内において、一對の割スリーブ 1 7 2 によって保持される。

【0 4 7 1】

図 9 2 は、前記光ファイバ 7 3，7 3 とフェルール 7 2 F，7 3 F と、割スリーブ 1 7 2 の位置関係を示す。

【0 4 7 2】

図 9 2 を参照するに、割リスリーブ 1 7 2 は円筒形状の部材を軸方向に分割した形状を有し、一般にリン青銅により形成される。図 9 2 に示すようにフェール 7 2 F, 7 3 F は一對の割リスリーブ 1 7 2 で保持され、双方のばね 1 7 3 A, 1 7 3 B により、相互に所定の圧力で押圧され、所望の P C 接続が実現される。これにより、容易に光通信システム 1 7 0 を構築することが可能になる。本実施例では、P C 接続を使うことにより、強固で信頼性の高い光ファイバ接続が実現される。

【 0 4 7 3 】

一般に、レーザ装置には、人体への安全性の観点から安全規格が設けられているが、当該面発光レーザダイオード素子チップの発振波長は $1.1 \sim 1.7 \mu\text{m}$ であり、発振波長が可視領域（波長が $0.4 \sim 0.7 \mu\text{m}$ の範囲）の装置と比べて、より大きい出力で動作させても、安全規格に適合することが可能である。

[第 1 7 実施例]

次に本発明のさらに他の特徴、すなわちレーザダイオードと光ファイバあるいは光導波路の結合について説明する。

【 0 4 7 4 】

図 9 3 に示すように、本発明の面発光レーザダイオードでは、レーザダイオードから基板に対して法線方向に放出されたレーザビームは、光軸に垂直な面内においてガウス関数に近い強度分布を示す。

【 0 4 7 5 】

このような光強度分布から、ビーム径をそのプロファイルの半値全幅 (FWHM) と仮定し、得られたビーム径とレーザダイオードー検出面間の距離から、射出する光ビームの光放射角 θ を測定することができる。

【 0 4 7 6 】

本実施例の面発光レーザダイオードにおいては、光放射角 θ は略軸対称で、 $5 \sim 10$ 度程度の値を有することが確認された。

【 0 4 7 7 】

これに対し、従来公知の $1.1 \sim 1.7 \mu\text{m}$ 帯の端面発光レーザダイオードで

はこの光放射角 θ が大きく、しかも大きなアスペクト比を有することが知られている。典型的な値として、レーザダイオードの基板に垂直方向の光放射角 θ_{\perp} は ~ 35 度、基板に並行方向の光放射角 $\theta_{//}$ ~ 25 度である。したがって、従来の端面発光レーザダイオードにおいては、光ファイバや光導波路において、効率的な光結合を得るためにマイクロレンズなどを用いる必要があった。

【 0 4 7 8 】

これに対し、本実施例のレーザダイオードにおいては、上記のように光放射角が小さいため、このようなマイクロレンズを省略でき、レーザダイオードと光ファイバ、あるいはレーザダイオードと光導波路間の距離を短縮できる。また、前記光放射角 θ が小さいため、レーザダイオードと光ファイバ、あるいはレーザダイオードと光導波路間の距離が大きい場合でも、光ビーム径の広がり小さく、所定の範囲内であれば、レーザダイオードと光ファイバ、あるいはレーザダイオードと光導波路とを、間にレンズを設けることなく光結合することが可能である。

【 0 4 7 9 】

図 9 4 は、本発明の面発光レーザダイオード 3 2 におけるレーザビームの広がり、レーザビームに対する光ファイバあるいは光導波路の位置関係を示す模式図を、また図 9 5 は、ビーム径の広がりについての計算結果の一例を示す。

【 0 4 8 0 】

図 9 4 を参照するに、レーザダイオード 3 2 は開口径 d [μm] の発光部 3 2 A を有し、光ビームを放射角 θ [度] で形成する。またレーザダイオードから光路長 l [μm] 離れた位置に、光ファイバ 1 8 0 (あるいは光導波路) の端面が形成される。前記光ファイバ 1 8 0 は、コア径が X [μm] のコア 1 8 1 と、前記コアを囲むクラッド 1 8 2 とを有し、レーザダイオードの光軸と光ファイバの光軸が一致するように設けられている。ここで前記開口径 d は、開口が円の場合には、その直径を、正方形の場合には、正方形の一辺の長さを表すものとする。開口が長方形などその他の形の場合には、それに内接する楕円の面積に相当する面積を持つ円の直径を d とする。

【 0 4 8 1 】

ここで、レーザダイオードと光ファイバ端または光導波路端の光路長を使った

理由は、後で図 9 7 に示すような、ミラーで光を偏向させる場合をも含めるためである。このような光の偏向がなく、光路が直線の場合には、前記レーザダイオードから光ファイバ端または光導波路端までの光路長は、単にレーザダイオードから光ファイバ端または光導波路端までの距離に等しい。光導波路の場合にはコア断面が円でなく、一般的に長方形や正方形である。そこで正方形の場合には、その一辺を $X [\mu m]$, 長方形の場合には短軸を $X [\mu m]$ とする。

【0 4 8 2】

図 9 4 において、レーザダイオードから垂直に放出された光ビームのビーム径は、光放射角 θ をもって光路長 l と共に拡大し、前記光ファイバまたは光導波路の端面に達する。

【0 4 8 3】

光ファイバまたは導波路端面でのレーザビーム径は、
 $d + 2 l \tan (\theta / 2)$
 であらわされる。

【0 4 8 4】

そこで、このビーム径が、光ファイバまたは光導波路のコア径 X 以下である光路長 l 内に収まれば、良好な光結合がえられると考えられる。

【0 4 8 5】

図 9 5 にはこの式に基づいて、本実施例の一例として、レーザダイオードの開口径 $5 \mu m$, 光放射角 10 度の場合の、前記光路長 l とビーム径との関係を示す。図 9 5 中には比較例として、光放射角が 35 度の端面発光型の場合の、光路長 l とビーム径との関係をも示す。

【0 4 8 6】

図 9 5 を参照するに、本実施例の場合、比較例に比べてビームの広がり小さく、光ファイバとしてコア径が $50 \mu m$ (クラッド径 $125 \mu m$) の一般的なマルチモードファイバを使った場合、光路長 l が $260 \mu m$ の場合にコア径 X とビーム径とが一致する。

【0 4 8 7】

そこで、前記光路長 l が、前記コア径 X とビーム径とが一致する距離以内であ

れば、ファイバのコア径よりもビーム径の方が小さく、従ってレーザビームのロスが少ない良好な光結合を得ることができる。すなわち、本発明の面発光レーザダイオードを使った場合、レーザダイオードと光ファイバ端との間の距離、換言すると光軸方向のアライメントは、比較例の場合に比べて非常にラフで良いことがわかる。また、コア径が $100\mu\text{m}$ のプラスチック光ファイバの場合には、レーザビーム径がコア径と一致する光路長 l は $550\mu\text{m}$ と更に大きいため、レーザダイオードのパッケージと光ファイバを分離した構成を取ることができる。

【0488】

図96に、上記の面発光レーザダイオードを用いた通信システム用レーザダイオードと光ファイバとの結合部の構成例を示す。ただし図96中、先に説明した部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

【0489】

通信システムは、面発光レーザダイオードとその駆動回路を有する光送信部、面型フォトディテクタとその駆動回路を有する光受光部、及びそれらの間の伝送経路として作用する光ファイバまたは光導波路より構成され、レーザダイオード及びフォトディテクタの駆動回路は、それぞれの素子と同一の実装基板上に実装される。また、光伝送経路の両側に光送信部と光受光部を備えることで、双方向の通信を行っても良い。

【0490】

図96を参照するに、本実施例では実装基板131として熱伝導性の良いSi基板を用い、前記実装基板131上に、図1に示す構造の面発光レーザダイオード素子32Aをアレイ状に並べたレーザアレイチップ32を実装する。図示の例では、前記レーザダイオード素子32Aとして、発振波長が $1.3\mu\text{m}$ のものを使用し、各々のレーザダイオード素子32Aの開口径を $10\mu\text{m}$ としている。また前記実装基板131上には12個のレーザダイオード素子32Aを、 $200\mu\text{m}$ のピッチで集積している。

【0491】

次いで、前記実装基板131上に、前記レーザダイオード素子32Aと同一の $200\mu\text{m}$ ピッチで、マルチモードファイバ径に相当する $125\mu\text{m}$ 径の貫通穴

を形成した窒化アルミ A 1 N よりなるホールアレイ部材 1 9 1 を、レーザアレイチップ 3 2 のマーカ 3 2 X と、前記ホールアレイ部材 1 9 1 のガイド 1 9 1 X とが一致するように固定する。前記ホールアレイ部材 1 9 1 は熱伝導率が約 $300 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ と非常に大きく、レーザアレイチップ 3 2 と当接して設けられることにより、有効な放熱部としても作用する。このため、レーザダイオードの発振による熱を発光面側からも放熱でき、安定した光通信システムが実現される。

【 0 4 9 2 】

前記ホールアレイ部材 1 9 1 中の貫通孔の各々には、端面を研磨したマルチモード光ファイバ 1 9 2 が挿入され、これをレーザダイオードチップ 3 2 につき当てた状態で、接着剤で固定される。かかる構成により、光軸と垂直方向に、レーザダイオード素子 3 2 A と対応する光ファイバ 1 9 1 との間で正確なアライメントが得られる。

【 0 4 9 3 】

一方、このように本実施例では光ファイバ 1 9 1 をチップ 3 2 に突き当てているだけなので、光軸に垂直方向にはラフなアライメントしか得られず、レーザダイオードと光ファイバとの間には、 $0 \sim 20 \mu\text{m}$ 程度の空間が生じることがある。しかし、レーザダイオード素子 3 2 A の光放射角 θ が本発明の場合 8° に達し、しかも開口径 d が $10 \mu\text{m}$ と大きいため、レーザダイオードと光ファイバとの間の距離が $50 \mu\text{m}$ であってもビーム径は $17 \mu\text{m}$ に過ぎず、マルチモード光ファイバ 1 9 1 のコア径 $50 \mu\text{m}$ を超えることはない。すなわち本実施例では上記の式が満足されており、良好な光結合が得られる。またレーザダイオード素子と光ファイバ 1 9 1 との間にレンズを設ける必要もない。

【 0 4 9 4 】

このように、本実施例によれば、 $1.3 \mu\text{m}$ の面発光レーザダイオードを用いて、部品点数が少なく、低コストで、光軸方向についてのアライメントに関する条件が緩やかな光通信システムを構築できる。

【 0 4 9 5 】

一方、本実施例において光ファイバ 1 9 1 をレーザダイオードチップ 3 2 につき当てた後、マイクロメータを用いて引き出す実験を行ったところ、レーザダイ

オードと光ファイバとの間の距離が $400\ \mu\text{m}$ の場合にビーム径が $66\ \mu\text{m}$ となることが確認された。この状態では光ビーム径がマルチファイバ 191 のコア径 $50\ \mu\text{m}$ より大きく、上記式を満たさない。これに伴い、十分な光結合が得られない。

【0496】

本発明者が行った実験結果を表 7 に示す。

【0497】

【表 7】

$d + 2l \tan(\theta / 2) (\mu m)$	$X (\mu m)$	評価
10	50	○
20	50	○
30	50	○
40	50	○
50	50	○
60	50	△
70	50	×
80	50	×
10	62.5	○
20	62.5	○
30	62.5	○
40	62.5	○
50	62.5	○
60	62.5	○
70	62.5	×
80	62.5	×

評価: ○ 光学的結合効率が良好で実用使用に耐える

△ 光学的結合効率がやや悪くて実用使用にはやや難あり

× 光学的結合効率が悪く実用使用不可

以上の結果より、光ファイバのコア径を X 、レーザダイオードの開口径を d 、レーザダイオードの光放射角を θ 、レーザダイオードから光ファイバまでの光路長を l とした場合、コア径 X は $d + 2l \tan(\theta / 2)$ 以上でないと、実用的

な光結合が得られないことがわかる。

【0498】

以上の説明では光ファイバを12本としたが、光ファイバの数は1本でも、また4、8、16本など送信するデータによって適宜必要な数でかまわない。また光ファイバとして、マルチモードファイバ191を用いたが、遠距離で、大容量の情報を転送するには、シングルモードファイバが、近距離で低コストにするにはプラスチック光ファイバ(POF)が適しているが、上記の式はどの光ファイバについても成立する。また光ファイバ端面は、無反射コーティングなどの処理を行うのが好ましい。

【0499】

本実施例では、放熱部を兼用するホールアレイ部材191としてAlNを用いたが、SiやC、アルミナなどのセラミックスなど、熱伝導率の高いものであれば放熱部として効果的である。

[第18実施例]

次に、本発明の別の実施例について、先と同様に、レーザダイオードと光ファイバの結合部を説明する。

【0500】

本実施例の構成は図96に示すものとほぼ同じだが、レーザダイオードチップ32と光ファイバ191とを当接させ、レーザダイオードチップ32と光ファイバ191あるいは光導波路との間の距離をほぼ0としている。なお、ここでいう“当接”とは、レーザダイオードと光ファイバあるいは導波路との間の距離をほぼ0していると定義されるが、アセンブリ上の精度の点も考慮に入れ、実際には0~10 μ mまでもその“当接”に含まれるものとする。

【0501】

実装基板131として熱伝導性の良いSi基板を用い、前記実装基板131上に、図1に示す構造の面発光レーザダイオード素子32Aをアレイ状に並べたレーザアレイチップ32を実装する。なお、この場合も発振波長が1.3 μ mのものを使用する。

【0502】

本実施例ではレーザダイオードの開口径を $10\mu\text{m}$ とし、レーザダイオードを12個としている。その際、レーザダイオードのピッチは $200\mu\text{m}$ としている。

【0503】

次いで、前記実施例基板131上に、レーザダイオードと同一の $200\mu\text{m}$ ピッチで、マルチモードファイバ径に相当する $125\mu\text{m}$ の貫通穴が多数形成された、AlNよりなるホールアレイ部材191にマルチモード光ファイバ192を挿入し、その際、前記マルチモード光ファイバ192の先端を、レーザアレイチップ32に密着する面よりもやや突出させる。

【0504】

次いで前記光ファイバの先端部を研磨し、ホールアレイ部材191のうち、前記レーザアレイチップ32と密着する側の面に光ファイバ端を一致させる。このように構成した後、先ほどと同様に、マーカ32Xとガイド191Xとを一致させることにより、各々の面発光レーザダイオード素子32Aと対応する光ファイバ192の光軸とを一致させる。この状態でレーザアレイチップ32とホールアレイ部材191とを固定することにより、レーザダイオードチップ32と光ファイバ191とを当接させることができる。

【0505】

本実施例では、先の実施例より高い光結合効率を得られる。すなわち、本実施例ではレーザビームの広がりが生じることがなく、レーザビーム径は前記開口径におおよそ一致する。すなわち、レーザビームのビーム径は、光ファイバ191のコア径に比べて十分小さく、光軸に直交するアライメントマージンはさらに増加する。このため、低コストで $1.3\mu\text{m}$ 帯域の面発光レーザを用いた光通信システムを構築することができる。

[第19実施例]

図97(A)、(B)は、本発明の別の実施例による、レーザダイオードと光導波路との結合部の構成を示す。ただし図97(A)は本実施例の構成の斜視図

を、図 9 7 (B) は断面図を示す。本実施例では、レーザダイオード素子 3 2 A から放出されたレーザビームがミラー 3 0 1 により偏向される構成を示している。図 9 7 (A), (B) 中、先に説明した部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

【0506】

図 9 7 (A), (B) を参照するに、本実施例では実装基板 1 3 1 として熱伝導性の良い S i 基板を用い、前記実装基板 1 3 1 上に、図 1 に示す構造の面発光レーザダイオード素子 3 2 A をアレイ状に並べたレーザアレイチップ 3 2 を実装する。本実施例では前記レーザダイオード素子 3 2 A は $15\mu\text{m}$ の開口径を有し、4 個のレーザダイオード素子 3 2 A がアレイを形成している。

【0507】

一方、本実施例では別の実装基板 1 3 1 A 上にミラー 3 0 1 を実装またはモノリシックに形成し、さらに実装基板 1 3 1 A 上に光導波路 3 0 2 を形成する。ここでミラー 3 0 1 は、前記実装基板 1 3 1 A を構成する S i 基板を K O H によって異方性エッチングし、形成された結晶面上に A g を成膜することにより形成される。

【0508】

本実施例では、更に前記実装基板 1 3 1 A 上に光導波路 3 0 2 を形成する。光導波路 3 0 2 は、下部クラッド層 3 0 2 A を形成した後、コア層としてポリメチルメタクリレート (PMMA) 層を堆積し、さらにこれをパターニングすることでコアパターン 3 0 2 B を形成し、さらにその上に上部クラッド層 3 0 2 C を形成する。典型的には、前記コアパターン 3 0 2 B の断面形状は $50 \times 50\mu\text{m}$ とされる。前記光導波路 3 0 2、特にコア層としては、PMMA の他に、ポリイミドやエポキシ樹脂、ポリウレタンやポリエチレンなどのポリマー導波路や、シリコン酸化膜などの無機膜を使うこともできる。また、これらの有機膜は、スピンコートやディップコートなどの塗布法とパターニングを組み合わせることにより、あるいは樹脂モールドや金型加工により形成できる。

【0509】

本実施例では、レーザアレイ素子を有する実装基板 1 3 1 と、光導波路 3 0 2

を有する実装基板 1 3 1 A とを、レーザダイオード素子 3 2 A の光軸と光導波路 3 0 2 の光軸が、前記ミラー 3 0 1 を介して一致するように固定する。

【0 5 1 0】

本発明の発明者が行った実験では、レーザダイオード素子 3 2 A としては、光放射角が約 1 0 度で開口径が 1 5 μ m の面発光レーザダイオードを使い、レーザダイオード素子 3 2 A と導波路 3 0 2 との間の光路長 1 を、光導波路 3 0 2 端面の位置を変えることで、5 0, 1 0 0, 2 5 0 μ m の 3 種類の値に設定した。その結果、上述の式が満足される光路長が 5 0 μ m および 1 0 0 μ m の場合については良好な光結合が得られたが、上述の式を満たさない光路長が 2 5 0 μ m の場合には、良好な光結合は得られなかった。

【0 5 1 1】

いずれにせよ、本実施例ではレンズ等が不用で、光軸方向のアライメントも大まかでかまわない。従って 1. 2 μ m の面発光レーザダイオードを用いることにより、光軸方向へのアライメントが緩やかな光通信システムを構築することができた。

【0 5 1 2】

なお、本実施例ではミラー 3 0 1 を導波路 3 0 2 とは別に形成したが、導波路端面をダイシングブレードなどにより 4 5 度の斜面に加工し、かかる斜面に A g などの金属を成膜することによって、導波路 3 0 2 と一体のミラーを形成しても良い。また、本実施例では光導波路をマルチモード光ファイバに対応して、5 0 μ m としたが、シングルモード光ファイバを使う場合には、1 0 μ m 程度に小さくする必要がある。この場合にも、基本的に同様の式が成り立つ。また、本実施例では、光導波路 3 0 2 中のコアパターン 3 0 2 B の断面は正方形としたが、長方形に形成することもできる。また、光シートのように単独の導波路で複数の光信号を伝送してもよい。

[第 2 0 実施例]

図 9 8 は、本発明の別の実施例における、レーザダイオードチップ 3 2 と光導波路 3 0 2 との結合部の構成を示す。

【 0 5 1 3 】

図 9 8 を参照するに、本実施例では実装基板 3 1 0 として熱伝導性の良い S i 基板を用い、前記実装基板 3 0 1 上、図 1 に示す構造の面発光レーザダイオードをレーザダイオード素子部 3 2 A として担持するレーザダイオードチップ 3 2 を実装する。なお、本実施例でも、レーザダイオードチップ 3 2 として、発振波長が $1.3 \mu\text{m}$ のものを使用する。本実施例で使われたレーザダイオードは、開口径が $7 \mu\text{m}$ で光放射角 θ が 8 度のものであり、アレイの形ではなく単独で使用する。

【 0 5 1 4 】

レーザダイオードチップ 3 2 を実装した実装基板 3 1 0 は、パッケージ本体 3 1 1 上に位置合わせし固定される。更に、パッケージ本体 3 1 1 上のガイド 3 1 1 A と、ガイドピン 3 1 2 A で位置合わせをした光ファイバガイド 3 1 2 により、レーザダイオード 3 2 の光軸を、前記光ファイバガイド 3 1 2 に保持されたシングルモード光ファイバ 3 1 3 の光軸に一致させる。

【 0 5 1 5 】

前記シングルモード光ファイバ 3 1 3 は、径が $10 \mu\text{m}$ のコア 3 1 3 A と、前記コア 3 1 3 A を囲む、径が $125 \mu\text{m}$ のクラッドとより構成されており、前記光ファイバガイド 3 1 2 の径は、前記クラッドの外径に一致している。

【 0 5 1 6 】

本実施例の構成では、前記シングルモード光ファイバ 3 1 3 をレーザダイオード 3 2 に当接させることにより、良好な光結合が実現された。また本実施例ではシングルモード光ファイバ 3 1 3 を用いているため、長距離にわたり、広帯域の光信号伝送が可能となる。このように、本実施例によれば、 $1.3 \mu\text{m}$ の面発光レーザダイオードを用いて、良好な光結合を有する光通信システムを構築することが可能になった。

〔第 2 1 実施例〕

次に本発明のさらに他の例を説明する。

【 0 5 1 7 】

図 9 9 は、長波長面発光レーザダイオードを用いた光通信システムの一例を示す。

【 0 5 1 8 】

図 9 9 を参照するに、光通信システムは、発光部 3 2 A を有する面発光レーザダイオード 3 2 と光ファイバ 3 5 2 とで構成され、図 9 9 の例では前記面発光レーザダイオード 3 2 と光ファイバ 3 5 2 とが発光部 3 2 A において直接に結合されている。もちろん、レンズあるいはレンズ系を用いて光結合を実現しても良い。

【 0 5 1 9 】

前記面発光レーザ 3 2 の発光部 3 2 A の直径を d とし、光ファイバ 3 1 2 のコア径を F とすると、面発光レーザダイオードからのレーザビームは図 9 9 の点線 3 5 1 B のように発散する。ただし、図 9 9 において、 d は、前記発光部 3 2 A が多角形の場合に内接する円の直径を表す。この場合には、レーザビームの発散角は、端面発光型レーザダイオードにおけるレーザビームの発散角に比べれば小さい。図 9 9 のように面発光レーザと光ファイバを近接させた場合、光軸が光ファイバ端面に垂直で、端面の中心に一致し、光ファイバ端面位置でコア直径とほぼ同程度であれば、光結合効率を最も高くできる。

【 0 5 2 0 】

本実施例で使う面発光レーザダイオードは前述の通り波長 $1.1 \sim 1.7 \mu\text{m}$ 帯域で動作するが、特に $1.3 \sim 1.55 \mu\text{m}$ 帯域のレーザダイオードを用いれば、石英ファイバ中をレーザビームが伝搬する際の内部損失が小さいため、長距離伝送が実現される。

【 0 5 2 1 】

面発光レーザダイオード 3 2 の発光部 3 2 A の直径を d (光発光部 3 2 A が多角形の場合には内接する円の直径を d とする) とし、光ファイバ 3 5 2 のコア径を F としたとき、 F 、 d の比を

$$F/d \leq 2 \quad \dots (\text{式 } 1)$$

とすることにより、光結合効率を高くすることができる。

図 9 9 の実施例は、レーザダイオード発光部 3 2 A と光ファイバ 3 5 2 とを直

接結合させる構成を有し、間に結合レンズ等は設けられていない。

【 0 5 2 2 】

1. $3\ \mu\text{m}$ 帯などの端面発光レーザダイオードを使う従来の光通信システムでは、光ファイバとレーザダイオードとの光結合効率は低く、直接光結合させることは困難であった。また、光ファイバからの戻り光の影響でレーザ発振状態が変動するといった問題点が生じていた。しかし、本発明では長波長帯域で動作する面発光レーザを用いるため、レーザビームの形状は円形で、発散角に異方性が生じることはない。このため光結合効率は、端面型レーザダイオードの場合よりもはるかに高くなる。さらに面発光型レーザダイオードには反射率の非常に高い反構造が形成されているため、戻り光の影響をほとんど受けることがない。このため、レーザダイオードと光ファイバとを直接カップリングすることが可能になり、従来の光通信システムで使われていた光アイソレータを省略することが可能になる。

【 0 5 2 3 】

面発光型レーザの光出射部の直径を d （光出射部が多角形の場合には内接する円の直径を d とする）、光ファイバのコア直径を F とすると、前記 F と d とを

$$0.5 \leq F/d \leq 2 \quad \dots (\text{式 } 2)$$

で与えられる範囲内に設定することで、光結合効率を高くできる。以下、この理由について次に詳細に説明する。

【 0 5 2 4 】

表 8 は、筆者らが面発光レーザダイオードと単一モード光ファイバダイオードの光結合損失を調べた結果を示す。ただし表 6 は直接光結合を行った場合を示す。

【 0 5 2 5 】

表 8 を参照するに、面発光レーザダイオードの光出射部がコア直径よりも大きくなると光結合効率は減少するが、 $d \leq 2F$ （すなわち、 $0.5 \leq F/d$ ）であれば光結合損失は $3 \sim 5\ \text{dB}$ 以内に抑えられることがわかる。また、光出射部の大きさがコア径よりも小さいときには、光出射部に内接する円の直径と波長で決まるレーザビームの発散角が、単一モード光ファイバに単一モードで光結合でき

るNA（開口率）以下のときに、高効率な結合が達成できる。例えばコア径を10 μ m、コアの屈折率を1.4469、クラッドの屈折率を1.4435とし、レーザ波長を1.3 μ mとすれば、単一モードで結合可能なNAは0.0995になる。このNAに対応する発光部32Aの直径は約6.5 μ mである。

【0526】

しかし、発光部32Aの径が6.5 μ m以下でも例えば5 μ m程度であれば、光結合損失は3～5 dBに抑えられる。このことから、 $d \geq 0.5F$ （すなわち、 $F/d \leq 2$ ）であればよいことが結論される。

【0527】

以上より、面発光レーザと光ファイバを直接結合させる場合には、Fとdを
 $0.5 \leq F/d \leq 2$ …（式2）

の範囲となるように設定することによりカップリング損失を比較的小さくでき、効率の良い光結合を実現できる。なお、本実施例では単一モード光ファイバを用いたが、多モード光ファイバや、テーパ付き導光路を介して単一モード光ファイバに光結合させる場合にも、式2の条件を満足するように結合部を設計すれば、同様の効果が得られる。

【0528】

【表8】

F/d	カップリング損失[dB]	性能
0.4	>5	×
0.5	3～5	○
0.65	1	○
2.0	3～5	○
2.2	>5	×

次に他の例として、面発光レーザダイオードを、結合レンズを介して光ファイ

バに結合した光通信システムの例を図 1 0 0 に示す。

【 0 5 2 9 】

図 1 0 0 を参照するに、本実施例の構成では面発光レーザダイオード 3 2 と単一モード光ファイバ 3 5 2 との間に結合レンズ 3 5 3 が設けられる。前記レンズ 3 5 3 は単一のレンズであっても、複数のレンズを組み合わせたレンズ系であっても良い。単レンズで構成する場合には、前記レンズ 3 5 3 は面発光レーザダイオード 3 2 の発光部 3 2 A 近傍に配置するのが好ましい。

【 0 5 3 0 】

図 1 0 0 の構成では、結合レンズ 3 5 3 のレンズパワー（もしくは焦点距離）を適当に選ぶことにより、前記発光部 3 2 A の直径 d （光出射部が多角形の場合には内接する円の直径を d とする）を光ファイバ 3 5 3 のコア径以上にしても、光結合損失を小さく抑えることが可能になる。

【 0 5 3 1 】

例えばコア径を $10\ \mu\text{m}$ とし、発光部 3 2 A の直径が $20\ \mu\text{m}$ の場合、レンズ 3 5 3 によってビーム径が $1/2$ に縮小される。レンズ 3 5 3 の焦点距離を f 、レーザ波長を λ （ $=1.3\ \mu\text{m}$ ）、発光部 3 2 A の半径を ω_0 （ $=10\ \mu\text{m}$ ）、屈折率 n （ $=1$ ）とすると、

【 0 5 3 2 】

【数 1】

$$\frac{\frac{\lambda f}{\pi \omega_0^2 n}}{\sqrt{1 + \left(\frac{\lambda f}{\pi \omega_0^2 n} \right)^2}} = \frac{5}{10}$$

をみたす f を求めれば良い。このとき焦点距離 f は約 $140\ \mu\text{m}$ となる。

【 0 5 3 3 】

カップリングレンズを用いる場合、光出射部の直径を d （光出射部が多角形の場合には内接する円の直径を d とする）、光ファイバのコア直径を F とすると、

$d \geq F$, すなわち,

$$F/d \leq 1 \quad \dots (式 3)$$

であれば効率良く光ファイバに対して光結合することが可能になる。以下の表 9 を参照。

【 0 5 3 4 】

【表 9】

F/d	カップリング損失[dB]	性能
1.2	>5	×
1.0	3~5	○
0.8	1	○

なお、図 1 0 0 の実施例では結合レンズ 3 5 3 を単一のレンズで構成したが、これを複数のレンズによるレンズ系で構成しても良い。たとえば図 1 0 1 に示すように、2 枚のレンズ 3 5 3 A および 3 5 3 B でレンズ 3 5 3 を構成してもよい。

【 0 5 3 5 】

図 1 0 1 を参照するに、第 1 のレンズ 3 5 3 A によって面発光レーザダイオード 3 2 の発光部 3 2 A からの発散光が第 2 のレンズ 3 5 3 B に向けて収束され、第 2 のレンズ 3 5 3 B の面でビームウエストとなる。第 2 のレンズ 3 5 3 B は図 1 0 0 のレンズ 3 5 3 と同じ働きをする。本実施例によれば、単一のレンズをレーザダイオードの発光部の近傍に配置できない場合や、レーザ光の発散角が大きくて光ファイバへの結合効率が小さくなる場合に、前記レンズ 3 5 3 を複数枚で構成することで、高い結合効率を維持することが可能になる。

【 0 5 3 6 】

なお、以上の本実施例では単一モード光ファイバを光ファイバ 3 5 2 として使

ったが、本実施例では、多モード光ファイバを使う場合や、テーパ付き導光路を使う場合でも、式 3 の関係を満足する限り、同様の効果が得られる。

【 0 5 3 7 】

従来の端面発光型レーザダイオードを用いた構成では、結合レンズからの戻り光によってレーザ発振状態が変動を受けることがあり、これを避けるために光アイソレータを設けることが必要であった。しかし、面発光レーザダイオードは、高い光反射率を有する反射鏡構造を使用するため、戻り光の影響をほとんど受けない。このため光アイソレータを省略することが可能になる。

【 0 5 3 8 】

次に、面発光レーザダイオードアレイと光ファイバレイで構成される実施例を、図 1 0 2 を参照しながら説明する。

【 0 5 3 9 】

図 1 0 2 を参照するに、本実施例では面発光レーザダイオード 3 2 はアレイ状に配列された複数の発光部 3 2 A を有している。勿論、本実施例において面発光レーザダイオード 3 2 自体をアレイ状に配列しても良い。さらには、複数のレーザダイオードチップをアレイ状に配列しても良い。

【 0 5 4 0 】

図 1 0 2 では、発光部 3 2 A と対応する光ファイバ 3 5 2 とが直接に結合されているので、先に図 9 9 で説明したように、発光部 3 2 A に内接する円の直径 d と光ファイバ 3 5 2 のコア直径 F を、式 2 の関係を満足するように設定することにより、光結合損失を最小化でき、光結合効率を最大化できる。

【 0 5 4 1 】

本実施例では、発光部 3 2 A がアレイ状に配列されるため、情報量の大きい光通信システムを構築できる。

【 0 5 4 2 】

図 1 0 3 は、図 1 0 2 の構成に、さらに結合レンズアレイを挿入した実施例を示す。

【 0 5 4 3 】

図 1 0 3 の構成でも、発光部 3 2 A とレンズアレイと光ファイバ 3 5 2 の関係

は、図100の説明と同じである。すなわち、光出射部の直径 d （光出射部が多角形の場合には内接する円の直径を d とする）と光ファイバのコア直径 F の関係を式3とすれば効率良くカップリングができる。これらがアレイ状に配列されるため、情報量の大きい光通信システムが構築できる。なお本実施例ではレンズアレイ355において、各々のレンズ要素は単一のレンズにより構成されているが、複数のレンズを組み合わせて構成しても良い。

[第22実施例]

次に本発明のさらに他の実施例について説明する。

【0544】

図104（A）、（B）は、本発明による長波長面発光レーザダイオードを用いた通信システムの一例であり、図35で切出した長波長面発光レーザダイオード素子が形成されたレーザダイオードチップ32にCMOS回路とからなるレーザ駆動用IC32Dが接続されている様子を示す、それぞれ側面図および平面図を示す。

【0545】

図104（A）、（B）を参照するに、レーザダイオードチップ32とCMOSからなるレーザ駆動用IC32Dは、それぞれ導電性のサブマウント401上に導電性接着剤により実装されている。またレーザダイオードチップ32とレーザ駆動用IC32Dとの間には高周波伝送線路402（本実施例ではマイクロストリップライン）が形成されており、各チップ32はそれぞれこのマイクロストリップライン402にボンディングワイヤ403により接続されている。

【0546】

光通信用の面発光レーザダイオードでは、数百MHz～数GHzといった非常に高速な変調が必要なため、レーザダイオードチップ32とレーザ駆動用IC32Dとの間は出来るだけ短くするのが好ましいが、光学系のレイアウト上、かかる好ましい構成が不可能な場合がある。しかし、そのような場合に通常の配線でレーザダイオードチップ32とレーザ駆動用IC32Dとの間を接続すると、この配線部分から不要な電磁放射が生じてしまう。本実施例では、このような電磁放

射が生じないように、レーザダイオードチップ 3 2 とレーザ駆動用 IC 3 2 D との間を高周波伝送線路 4 0 2 により接続する。

【 0 5 4 7 】

かかる構成により、数 GHz の周波数でレーザダイオードの変調を行っても、配線部分からの不要な電磁波放射が生じることはなく、これに伴い、特別な不要電磁波の輻射を抑制する対策が不要となり、システムの更なる低価格化が可能である。

【 0 5 4 8 】

なお本実施例では高周波伝送線路 4 0 2 としてマイクロストリップラインを使用した、コプレーナ線路やトリプレート線路等の不平衡な伝送線路であればどれを用いてもよい。またレーザダイオードチップ 3 2 やレーザ駆動用 IC 3 2 D と伝送線路 4 0 2 との間の接続も、本実施例のワイヤボンディングに限定されるものではなく、フリップチップ接続や、TAB 接続、マイクロバンプ接続等の技術を、必要に応じて使うことが可能である。

[第 2 3 実施例]

先に図 5 2 において、本発明の通信システムの一例として、レーザ発振波長が $1.1 \sim 1.7 \mu\text{m}$ 帯域の長波長面発光レーザダイオードを用いたシステムを説明した。

【 0 5 4 9 】

従来より $0.85 \mu\text{m}$ 帯の波長では光通信システムが検討されていたが、光ファイバの伝送ロスが大きくて実用的ではなかった。また伝送ロスが小さい実用的な長波長帯においては安定したレーザ素子が得られなかったが、本発明では前述のように半導体分布ブラッグ反射鏡 1 2, 1 8 の改良、あるいは非発光再結合防止層 1 3, 1 7 を設けることにより、レーザ発振波長が $1.1 \sim 1.7 \mu\text{m}$ 帯域の面発光レーザダイオードを低電力で安定して駆動できるようになり、実用的な長波長帯光通信システムが可能となった。

【 0 5 5 0 】

前記図 5 2 の例では、光通信システムは、上記のような長波長面発光レーザダ

イオードチップ 3 2 と、前記チップ 3 2 中のレーザ発光部 3 2 A から出射したレーザビームを注入され、光伝送路として作用する第 1 の光ファイバ FG 1 と、前記第 1 の光ファイバ FG 1 中を伝搬したレーザビームを注入され、光伝送路として作用する第 2 の光ファイバ FG 2 と、前記第 2 の光ファイバ FG 2 から出射したレーザビームを注入され、光伝送路として作用する第 3 の光ファイバ FG 3 と、前記第 3 の光ファイバ FG 3 から出たレーザビームを受光する光ディテクタ部 3 4 A を有するフォトダイオードチップ 3 4 とから構成されている。

【 0 5 5 1 】

またレーザダイオードチップ 3 2 と第 1 の光ファイバ FG 1 との間には光接続モジュール MG 1 が設けられ、同様に光ファイバと光ファイバの間、および光ファイバとフォトダイオードチップの間にも、光接続モジュール MG 2、光接続モジュール MG 3、あるいは光接続モジュール MG 4 が設けられている。

【 0 5 5 2 】

このようなシステムに使用される第 1 の光ファイバ FG 1 は、この図 5 2 の例ではレーザダイオード発光部 3 2 A と、間に光学系が介在することなく、直接に光結合されている。

【 0 5 5 3 】

また先に図 9 4 において、本発明のレーザダイオードと光ファイバとの間に要求される関係について説明した。

【 0 5 5 4 】

本発明の 1. 1 ~ 1. 7 μ m 帯の長波長面発光レーザダイオードは光発散角 θ が 10° 程度であり、例えばコア径が 50 μ m (クラッド径 125 μ m) 光ファイバと組み合わせて使われる。このようなレーザダイオードと光ファイバの組合せにおいては、レーザダイオードと光ファイバとの間に良好な結合を得るには、発光部 3 2 A の大きさが、例えば 0. 005 mm \times 0. 005 mm ~ 0. 02 mm \times 0. 02 mm のもの、面積 S で見ると 0. 000025 mm² ~ 0. 0001 mm² のものが使用される。この場合、レーザダイオードと光ファイバとを、0 ~ 0. 33 mm の距離をおいて対向させることにより、間に特別な光学系を入れなくても良好な光学的結合が実現できる。光ファイバの代わりに光導波路を

用いた場合も同様の状況が成立する。

【 0 5 5 5 】

本発明では上記の大きさの発光部 3 2 を有するものが使われるが、これは 1. 1 ~ 1. 7 μ m 帯の長波長面発光レーザダイオード素子を用いた光通信システムの動作電圧にも密接に関係している。

【 0 5 5 6 】

本実施例ではこの点に注目し、面発光レーザダイオード 3 2 に単なるパルス発振ではなく安定した連続発振を行わせるのに適した動作電圧について、検討を行った。

【 0 5 5 7 】

表 1 0 に本実施例の実験結果を示す。

【 0 5 5 8 】

本実施例の実験では、図 1 0 に示した構成を有する、レーザ発振波長が 1. 3 μ m のレーザダイオードを使用した。実験では、発光部 3 2 A (今回は正方形とした) の大きさと動作電圧を変え、安定した連続発振ができる条件を探索した。なお、前記発光部 3 2 A の形状は必ずしも正方形でなくてもよく、例えば円形形状であってもよい。このような場合にも、本発明と同様な考え方が、面積換算を行うことにより、適用できる。

【 0 5 5 9 】

【表 1 0】

No.	光射出部サイズ (mm×mm)	面積S (mm ²)	動作電圧V (V)	V/S	評価
1.	0.005×0.005	0.000025	0.2	8000	× 発振せず
2.	0.005×0.005	0.000025	0.3	12000	× 発振せず
3.	0.005×0.005	0.000025	0.375	15000	○ 良好発振
4.	0.005×0.005	0.000025	0.4	16000	○ 良好発振
5.	0.005×0.005	0.000025	0.5	20000	○ 良好発振
6.	0.005×0.005	0.000025	0.6	24000	○ 良好発振
7.	0.005×0.005	0.000025	0.75	30000	○ 良好発振
8.	0.005×0.005	0.000025	0.9	36000	× 破損
9.	0.005×0.005	0.000025	1.2	48000	× 破損
10.	0.01×0.01	0.0001	1.2	12000	× 発振せず
11.	0.01×0.01	0.0001	1.3	13000	× 発振せず
12.	0.01×0.01	0.0001	1.5	15000	○ 良好発振
13.	0.01×0.01	0.0001	1.7	17000	○ 良好発振
14.	0.01×0.01	0.0001	1.9	19000	○ 良好発振
15.	0.01×0.01	0.0001	2.1	21000	○ 良好発振
16.	0.01×0.01	0.0001	2.3	23000	○ 良好発振
17.	0.01×0.01	0.0001	2.5	25000	○ 良好発振
18.	0.01×0.01	0.0001	3	30000	○ 良好発振
19.	0.01×0.01	0.0001	4	40000	× 破損
20.	0.01×0.01	0.0001	5	50000	× 破損
21.	0.02×0.02	0.0004	2	5000	× 発振せず
22.	0.02×0.02	0.0004	4	10000	× 発振せず
23.	0.02×0.02	0.0004	6	15000	○ 良好発振
24.	0.02×0.02	0.0004	8	20000	○ 良好発振
25.	0.02×0.02	0.0004	10	25000	○ 良好発振
26.	0.02×0.02	0.0004	12	30000	○ 良好発振
27.	0.02×0.02	0.0004	15	37500	× 破損
28.	0.02×0.02	0.0004	20	50000	× 破損

以上の結果より、面発光レーザダイオード素子チップの光射出部の面積を S (mm^2)、レーザ素子動作電圧を V (V) とするとき、 V/S を 15000～30000 の範囲にすることにより、レーザ素子を破損することなく、安定して連続発振させられることがわかる、よってこのような条件において 1.1～1.7 μm 帯の長波長面発光レーザダイオード素子を用いた光通信システムを動作させ

れば、実用的で安定したシステムを実現できる。

[第 2 4 実施例]

次に本発明のさらに他の例を説明する。

【 0 5 6 0 】

図 1 0 5 は、本実施例による長波長面発光レーザダイオードを用いた光通信システムの一例を示す。ただし図 1 0 5 中、先に説明した部分に対応する部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

【 0 5 6 1 】

図 1 0 5 を参照するに、本実施例による光通信システムでは、実装基板 3 0 1 上に設けられたレーザダイオード 3 2 A の光出力を、別の実装基板 3 0 1 A 上に形成されたミラー 3 0 1 により、光通信用の光ビームとモニタ用の光ビームに分岐し、分岐されたモニタ用の光ビームが前記実装基板 3 0 1 A 上に設けられたモニタ用受光素子 1 4 2 P により検出される。前記モニタ用受光素子 1 4 2 P は、先に図 8 6 で説明したモニタ用受光素子 1 4 2 P に対応する。なお、図 1 0 5 および後述の図 1 0 7, 1 0 8 も同様であるが、前記レーザダイオード発光部 3 2 A は紙面に対して垂直方向に複数個配列されてアレイを形成しており、これに対応して、複数の光導波路が設けられている。

【 0 5 6 2 】

また、本実施例の通信システムは、前記面発光レーザダイオード 3 2 とその駆動回路を有する光送信部と、面型受光素子とその駆動回路を有する光受信部と、前記光送信部と光受信部との間を及びそれらの間の伝送経路として作用する光ファイバまたは光導波路とからなっている。ここではレーザダイオード 3 2 及び面型受光素子の駆動回路は図示しないが、これらは、それぞれの素子と同一の実装基板上に実装することが可能である。あるいは、レーザダイオード素子形成基板にウエハプロセスにより、レーザ素子形成と一体的に集積化してもよい。また、かかる光伝送経路の両側に、光送信部と光受信部とを備えることで、双方向の通信を行う光通信システムが実現できる。

【 0 5 6 3 】

図 1 0 5 に示すように、長波長面発光レーザレイ素子の一方の面から出射されたレーザビームはミラー 3 0 1 で分岐され、光軸を整合させた光導波路 3 0 2 に導かれる。この光導波路 3 0 2 は、光ファイバであってもよい。

【 0 5 6 4 】

ミラー 3 0 1 で分岐されたもう一方のレーザビームは、実装基板 3 0 1 A 上に形成されたモニタ用受光素子 3 4 に導かれる。前記ミラー 3 0 1 は前記モニタ用受光素子 1 4 2 P に供給される光ビームを分岐するものであり、このようなモニタ用受光素子に供給されるレーザビームは、モニタ用受光素子の出力を用いてレーザダイオードの出力が正しく制御できる範囲で、すなわち受光素子の感度内において小さい方が好ましい。光通信システムの消費電力などを考慮すると、可能な限り多くの光エネルギーが、光信号として光導波路 3 0 2 あるいは光ファイバ中を伝送されるのが好ましい。このため、本発明実施例ではミラー 3 0 1 として使われる Au や Ag, Al などの金属薄膜の膜厚を制御し、 $1.1 \sim 1.7 \mu\text{m}$ の波長の範囲において透過率を制御している。あるいは、前記ミラー 3 0 1 として厚い金属膜を使い、全反射する条件において、その反射面に溝や円、正方形など各種形状の開口部を設け、透過率を制御してもよい。後者の場合、光による干渉をさけるために、溝のピッチや開口部のサイズをランダムに設定し、また開口部の位置をランダムにするのが好ましい。更に、誘電体多層膜や半導体多層膜を使うことにより、ミラー 3 0 1 の透過率を制御することも可能である。

【 0 5 6 5 】

従来の端面発光レーザダイオードに比べ、本発明の光通信システムに使用される発振波長が $1.1 \sim 1.7 \mu\text{m}$ 帯域の面発光レーザダイオードは、温度による光出力の変動が小さく、経時変化の少なく非常に安定したレーザである。一方、より信頼性の高い光通信システムを形成するには、レーザダイオード出力をモニタしてその出力を制御するのが好ましい。従来の端面発光レーザダイオードでは、後方劈開面から放出されるレーザビームをモニタすることによってレーザダイオード出力を制御することが行われている。

【 0 5 6 6 】

これに対し、本実施例のような面発光レーザダイオードを用いたシステムでは

、レーザ出力はレーザダイオードの一方の面においてのみ得られ、このため従来の端面発光型レーザダイオードの場合ようなモニタ受光素子の配置は採用できない。また、本発明のシステムに使用される、発振波長が $1.1 \sim 1.7 \mu\text{m}$ 帯域の面発光レーザダイオードでは、出射するレーザビームの発散角は 10° 程度にしかならず、このためレーザダイオードを光ファイバや光導波路に近接させることでレンズを用いずに光結合させることは出来ても、モニタ用受光素子を挿入する余地はない。

【 0 5 6 7 】

これに対し、本実施例では上記のようなミラー 3 0 1 を用いることで、レーザダイオード 3 2 と光導波路間 3 0 2 あるいは光ファイバと間の光路長を増大することなくレーザダイオードの光出力をモニタでき、このため、レーザダイオードの光出力を確実に制御できる。また、本実施例ではミラー 3 0 1 を用いて光軸を偏向しているため、レーザダイオード 3 2 の面と光導波路 3 0 2 あるいは光ファイバの光軸が平行となり、光導波路 3 0 2 あるいは光ファイバを光モジュールの面に平行に固定できる。このため、本実施例では光導波路 3 0 2 あるいは光ファイバを容易に固定でき、強固な構成とすることが可能である。また、光通信システムのモジュールとしてはサイズが大きくなるが、レーザダイオード 3 2 の光軸に沿って、ミラーの前後に結合レンズを設けることも可能である。

【 0 5 6 8 】

なお、図示はしないが、本発明では複数個のレーザダイオード素子およびこれに対応した光導波路（この例では光ファイバ）が用いることができる、前記ミラー 3 0 1 は、共通のミラー（図 1 0 5 において紙面に対して垂直方向に延在する単一のミラー）を用いることができる。これにより、このようなレーザダイオードアレイとモニタ用受光素子アレイおよび光の分岐手段よりなる光送信ユニットの小型化および製造費用の低減が可能となる。

【 0 5 6 9 】

図 1 0 6 は、このように分岐されたレーザビームを用いてレーザダイオード 3 2 の出力を制御するフィードバック制御回路のブロック図を示す。

【 0 5 7 0 】

図 1 0 6 を参照するに、先に図 8 7 で説明した駆動回路 1 6 1 に対応する駆動回路 1 6 1 によってレーザダイオード 3 2 が駆動され、形成されたレーザビームの一部は前記ミラー 3 0 1 で分岐され、前記モニタ用受光素子 1 4 2 P に導かれる。前記モニタ用受光素子 1 4 2 P は供給されたレーザビームの光強度を検出し、対応して形成される電気出力信号によりレーザ出力制御部を、その出力が一定になるようにによって制御される。駆動回路は、本発明のシステムに使用されるレーザダイオードは発振電圧が低しきい値であるため、低消費電力の点で CMOS を用いることが好ましいが、バイポーラを用いても良い。また、モニタ用受光素子は、本発明の波長域が $1.1 \sim 1.7 \mu\text{m}$ であるため、InGaAs 材料のフォトダイオードを用いることができる。経時変化や温度変化によるレーザ光の変動は時間的に緩やかな変化であるため、応答速度は低くとも高感度のフォトダイオードでも良い。

再度図 1 0 5 に戻って本実施例の説明を継続する。

【 0 5 7 1 】

本実施例では図 1 に示した長波長面発光レーザダイオード素子を 4 個並べたレーザダイオードアレイと、図示していない駆動回路及びレーザ出力制御部とを、熱伝導性の良い Si 実装基板 3 0 1 上に実装する。なお、前記 4 個のレーザダイオード素子は単一のチップ上に $200 \mu\text{m}$ の配列ピッチで形成したもので、発振波長が $1.3 \mu\text{m}$ のものを使用している。

【 0 5 7 2 】

次に熱伝導性が良好で $1.3 \mu\text{m}$ 帯域の光に対して透明な Si 基板により、前記ミラー 3 0 1 を形成する。単結晶 Si 基板を前記実装基板 3 0 1 A として使うことにより、異方性エッチングを行うことにより、前記ミラー 3 0 1 を形成することができる。その際、単結晶 Si 基板に対する異方性エッチングにより形成される結晶面を考慮して、ウエハの結晶軸に対する切り出し面が決定される。なおエッチャントとしては KOH を用いることができる。このようにして 45 度のミラー面 3 0 1 を実装基板 3 0 1 A 上にモノリシックに形成し、さらに Au 膜を蒸着した後、光導波路 3 0 2 を形成する。

【 0 5 7 3 】

かかる工程においてA_u膜厚を設定することにより、波長1.3 μ mのレーザー光の透過率を制御できる。

【0574】

光導波路302の形成に際しては、クラッド302Aを形成した後、コア層としてポリメチルメタクリレート（PMMA）膜を形成し、このように形成されたコア層をパターニングすることによりコアパターン302Bを形成する。さらに、前記コア層302Bを覆うように上部クラッド層302Cを形成する。

【0575】

本実施例では、コアパターン302Bは、50×50 μ mの断面を形成するようにパターニングされた。このようにして形成された光導波路302は、モジュール形成後、図示していない光ファイバと光結合され、長距離通信システムを構成する。

【0576】

前記光導波路302としては、PMMAの他にポリイミドやエポキシ樹脂、ポリウレタンやポリエチレンなどのポリマー導波路やシリコン酸化膜などの無機膜を用いることもできる。また光導波路302の形成は、スピンコートやディップコートなどの塗布法とパターニングを組み合わせることにより、あるいは樹脂モールドや金型加工により、行うこともできる。

【0577】

さらにレーザーダイオードの光軸と光導波路の光軸を一致させ、各々の実装基板301および301Aを固定し、ミラー面301が形成されている実装基板301A上に、前記分岐されたレーザービームの光軸に一致させて面入射型フォトダイオードを、前記受光素子142Pとして、固定する。前記フォトダイオードとしては、例えばInP基板上にバッファ層を設けた上に光吸収層としてInGaAs層を設けたフォトダイオードを用いることができる。

【0578】

さらに、このようにして形成された受光素子142Pの出力を、ワイヤボンディングによってレーザー出力制御部162に電氣的に接続する。これにより、図106で説明したレーザーダイオードの出力を制御するフィードバック制御回路が形

成される。

【 0 5 7 9 】

表 1 1 に、かかる光送信部において外部温度を変化させて動作を評価した結果を示す。ただし、表 9 には温度を 2 0 ℃とした場合の結果のみを示す。実際には、本発明の発明者は外部温度射を 0 ℃～7 0 ℃まで 1 0 ℃ずつ変化させて評価を行ったが、結果は 2 0 ℃の場合とほとんど同じであった。

【 0 5 8 0 】

【表 1 1】

ミラー透過率[%]	評価
0.1	×
0.2	×
0.3	×
0.5	△
0.7	△
1.0	○
2.0	○
5.0	○
10	○
20	○
30	○
40	○
50	○
60	△
70	×

○実使用に耐える

△実使用にやや難あり

×実使用不可

表 1 1 を参照するに、透過率が 1 % より小さい場合には、通信で使われる mW レベルの光パワーに対して 1 0 μ W レベルの光パワーが前記モニター用受光素子 1 4 2 P で検出されるが、光パワーの変動の範囲はそれよりも小さいため、レーザ出力の変動を検出し制御するのに十分な光が受光素子側へ導かれず、レーザダイオードの出力に変動が見られるのがわかる。一方、前記ミラー 3 0 1 の透過率

が 5 0 % を超える領域では、光信号伝送に比べてレーザダイオードの出力を制御する際のエネルギー消費が大きく、光通信システムとしての効率が低下する。

【 0 5 8 1 】

なお実際のシステムとして使用する場合には、透過率が 2 % 以上 3 0 % 以下であるのがシステム設計上好ましい。従って、この様な構成にすることによって、コンパクトで、外部温度変化の影響を被りにくく、レーザ出力を安定に制御できる光送信部が得られ、信頼性の高い光通信システムが構築できる。また、その際に、レーザダイオードからの光出力を分岐するミラーの光透過率を 1 % 以上 5 0 % 以下にすることが実用的であることが見出された。

【 0 5 8 2 】

なお、本実施例ではレーザダイオード素子数を 4 個としたが、これは 1 個でも、また 8, 1 2, 1 6 個など、送信するデータによって必要な任意の数でかまわない。また本実施例では、レーザダイオードから出射するレーザビームを光導波路に光結合させたが、そのかわりに光ファイバを用いてもよい。大量の情報を遠距離にわたって転送するにはシングルモードファイバが適しており、一方、近距離を低コストで伝送するには、プラスチック光ファイバ (P O F) が適している。また両者のバランスの取れた領域には、マルチモードファイバが適しており、本実施例では、これらの光ファイバを適宜使用することができる。

次に、本発明の別の実施例として、受光素子の電極とミラーを一体に形成した例を図 1 0 7 に示す。

【 0 5 8 3 】

本実施例では、図 1 に示す長波長面発光レーザダイオード 3 2 を S i 実装基板 3 0 . 1 上に、図示していない駆動回路及びレーザ出力制御部とともに実装した。なお、本実施例ではレーザダイオードとして発振波長が 1 . 2 μ m のものを使用している。

【 0 5 8 4 】

さらに先の実施例と同様に、モニタ用受光素子 1 4 2 P として G a A s P 材料を用いたフォトダイオードを用いるが、本実施例では、その光検出面の p 型電極

が、前記ミラー 3 0 1 と兼用される。

【 0 5 8 5 】

より具体的には波長が $1.2\ \mu\text{m}$ の光を透過させない厚さが $300\ \text{nm}$ の Au 膜を前記フォトダイオード上に電極として蒸着し、これに $0.7\sim 5\ \mu\text{m}$ 径のランダムな円状の開口を形成した。この場合、得られるミラー 3 0 1 の透過率が 5 % となる。

【 0 5 8 6 】

このようにして形成されたフォトダイオード 1 4 2 P は、前記レーザダイオード 3 2 に対して 4.5 度の角度で固定され、さらにフォトダイオード 1 4 2 P の出力端子を前記レーザ出力制御部 1 6 2 に電氣的に接続することにより、図 1 0 6 に示すレーザダイオードのフィードバック制御システムが構成される。

【 0 5 8 7 】

さらに、前記ミラー 3 0 1 で反射されたレーザビームの光軸に一致して、コア 3 0 2 f の径が $50\ \mu\text{m}$ でクラッド 3 0 2 c の径が $125\ \mu\text{m}$ のマルチモードファイバ 3 0 2 F を設けることにより、光通信システムが構築される。この様な構成にすることで、部品点数が少なくコンパクトな光送信モジュールを形成できる。このような光送信モジュールでは、レーザ出力を安定に制御できるため、これを使うことにより、信頼性の高い光通信システムを構築できる。

【 0 5 8 8 】

なお、本実施例ではモニタ用受光素子 1 4 2 P の電極を前記ミラー 3 0 1 と兼用して一体に形成したが、これをモニタ用受光素子 1 4 2 P の表面に、電極とは別に形成しても良い。

【 0 5 8 9 】

次に、本発明の別の実施例として、光導波路端面にミラーを形成した例を図 1 0 8 に示す。

【 0 5 9 0 】

図 1 0 8 を参照するに、本実施例では長波長面発光レーザダイオードアレイ 3 2 を、Si 実装基板 3 0 1 上に、図示していない駆動回路及びレーザ出力制御部とともに実装している。なお本実施例ではアレイ 3 2 中に 4 個のレーザダイオ-

ド素子 3 2 A が、 $200\mu\text{m}$ のピッチで配列されている。個々のレーザダイオード素子のレーザ発振波長は $1.3\mu\text{m}$ である。

【0591】

本実施例では実装基板 3 0 1 上に光導波路 3 0 2 が形成されているが、本実施例では前記導波路 3 0 2 の端面をダイヤモンドブレードを用いて 4 5 度に加工し、さらに形成された斜面に A u 膜を蒸着してミラー 3 0 1 を形成する。その際、前記 A u 膜の膜厚を設定することにより、前記ミラー 3 0 1 に対して 3 % の透過率を付与した。この様な光導波路 3 0 2 とレーザダイオード 3 2 とを光軸を一致させて光学的に結合させ、さらに前記ミラー 3 0 1 によって分岐された光ビームの光路上にモニタ用受光素子 1 4 2 P を固定することにより、前記モニタ用受光素子 1 4 2 の出力を使ってレーザ出力制御部 1 6 2 を介してレーザダイオード 3 2 の出力を制御することが可能になる。この様な構成にすることで、部品点数が少なくコンパクトな光モジュールを形成でき、また、レーザ出力を安定に制御できる、信頼性の高い光通信システムを構築できる。

[第 2 5 実施例]

次に本発明のさらに他の例について説明する。

【0592】

従来より、端面発光レーザダイオードは光通信システムにおいて広く使われているが、このような端面発光レーザダイオードを複数の光ファイバを用いた通信システムに使った場合には、個々の発光部と光ファイバとの光結合を 1 つずつ最適化する必要がある。また端面発光レーザダイオードは発光部から出射する光ビームの発散角も大きく、アスペクト比も 1 から大きくずれているため、カップリングレンズを発光部とファイバの間に設ける必要があった。

【0593】

これらの理由により、端面発光レーザダイオードを用いた光通信システムでは、レーザダイオードをアレイ中に高密度に形成することが出来なかった。これに対し、本発明では、単一チップ上に複数個のレーザダイオードがモノリシックに形成されている長波長面発光レーザダイオードを利用し、これに高い密度で配列

した光ファイバファイバ群を結合することにより、大容量光通信システムが実現できるようになった。

【 0 5 9 4 】

図 1 0 9 はレーザ発振波長が $1.1 \sim 1.7 \mu\text{m}$ 帯の長波長面発光レーザダイオードアレイと複数の光ファイバとを組み合わせた光通信システムの一例を示す。

【 0 5 9 5 】

本発明の面発光レーザダイオードは図 1 1 0 (A) に示すように出射角が縦横ともに、図 1 1 0 (B) に示す端面発光型のものに比較して小さいことが特徴で、ビーム断面形状もほぼ円形である。このことから、本発明の長波長面発光レーザダイオードを使った場合、カップリングレンズを設置しなくても光ファイバとの光接続を良好に行えることが分かる。従って、面発光レーザダイオードと光ファイバを近接して設置することが出来、レーザ素子と複数の光ファイバ群を高密度に配列した大容量光通信システムを構築することが可能である。

【 0 5 9 6 】

ところで、このような高密度光通信システムでは、通常の光ファイバケーブルでファイバ外周に使われているような、個々の光ファイバを識別するための着色層や識別リングを設けることは困難である。

【 0 5 9 7 】

面発光レーザダイオードアレイの場合、アレイを構成する個々の発光部 3 2 A は、リソグラフィーやエッチング等を用いて、同一基板上に、一括して、高精度で形成することができる。一方、複数の光ファイバを取り扱う場合、個々の光ファイバ 1 0 1 を個別に扱うよりも、全体として、束の形で扱う方がハンドリングやアライメントが容易になる。あらかじめ束ねられた光ファイバ束中におけるコア 1 0 1 a の配置と、各面発光レーザダイオード素子 3 2 A の配置を同一にすることは、上記のように面発光レーザダイオードアレイ 3 2 の場合には容易である。

【 0 5 9 8 】

しかし、光ファイバ 1 0 1 が束になった場合、その光ファイバ束の中心や、束

中の任意の光ファイバを識別するのは容易ではなく、何らかの方法が必要である。

【0599】

例えば図111 (A) ~ (C) に示すように、たとえば光ファイバ束の中心に位置する光ファイバ101Xのクラッド101bが着色されている場合、この光ファイバは容易に識別される。そこで、面発光レーザダイオードレイの中心の面発光レーザダイオード32AXを発光させ、これを前記着色された光ファイバ101Xに対応付けることで、光ファイバ束と面発光レーザダイオードレイとの対応を容易に行うことが出来る。

【0600】

なお図111の例では、束の中心の光ファイバ101Xのクラッド101bが着色された例を示したが、図112に示すようにたとえば数十本の光ファイバ束のなかで4本おきに着色された光ファイバが配置されていれば、その光ファイバを基準とし、容易に特定の光ファイバを認識することが出来る。ここで図113の光ファイバの断面に示すように光ファイバはコア101aとクラッド101bとに分かれているが、実際に光が伝搬するのはコア101aであり、クラッド101bはその光を閉じこめる役割を担う。そこで、クラッド101bが可視領域に着色されていても光の伝搬には寄与しないので何ら光通信に影響を及ぼさない。

【0601】

図111 (B) および (C) は、図111 (A) の一変形例を示し、図111 (A) の例では、光ファイバ101が最密充填構造に配列されているのに対し、図111 (B) では光ファイバ101が方形に配列されている。さらに図111 (C) では、光ファイバ101が、保持フェルール101F中において、方形の配列されている。

【0602】

特に図114の光ファイバの断面に示すように、光ファイバがシングルモード光ファイバ心線を有する場合、図113に示すマルチモード光ファイバ心線を有する光ファイバに比べ、コア101aの径が9.5 μ mと、クラッド101bの

径の $125\ \mu\text{m}$ に比べ非常に小さく、例えばクラッド 101b 部分の面積に対するコア部分 101a の面積の比率が約 172 と大きな値をとる。このような場合には、クラッド 101b が着色された光ファイバは、さらに識別しやすくなる。

[第 26 実施例]

次に本発明のさらに他の例について説明する。

【0603】

従来のレーザダイオードでは温度変化により、しきい値電流が変化してしまうため、通信システムにおいて使用する場合、定電流で制御することは困難である。このため、端面型レーザの場合には、発光面の反対側に光が漏れることを利用して、光出射面と反対側に受光素子（フォトダイオード）を設け、検出された光量を使ってレーザダイオードの出力が一定になるように、レーザダイオードの駆動をフィードバック制御していた。一方、面発光型レーザでは反対側に受光素子を配置することができないので、出射したレーザビームが光ファイバに達するまでの間に、もしくは光ファイバ以降に受光素子を設け、光量が一定になるようにリアルタイムに制御する、複雑な機構を使っていた。

【0604】

これに対し、図 115 は、本発明における長波長面発光レーザダイオードの I-L（電流-光出力）特性の一例を示す。

【0605】

図 115 を参照するに、本発明のレーザダイオードでは、従来のレーザダイオードと異なり、温度変化によるしきい値電流の変動は非常に少なく、I-L 曲線の傾きが温度変化の影響を受けているだけである。従って、駆動電流を一定にしてレーザダイオードを駆動すると、温度変化を含めても光出力の変動幅は大きいものとはならない。例えば図 115 において、駆動電流を 6 mA に設定してレーザダイオードを駆動した場合、 10° から 70° の温度範囲での光出力の変動幅は 0.1 mW であり、 10° から 100° 温度範囲でも、光出力の変動幅は 0.25 mW にしかならない。S/N（シグナル-ノイズ比）であらわすと、それぞれ 26 dB および 18 dB となり、一般の環境である 20° から 70° の温度範

用における通信においては、十分な信号品質を得ることができる。

【0606】

一般に、定電流電源の電流変動は、構成の簡単な回路を用いても $\pm 2 \sim 3 \%$ 以内であり、従って、定電流制御することは容易である。そこで、図116に示すように、光出力の上限と下限を設定し、上限温度と下限温度とを設定し、下限温度における光出力上限に対応した駆動電流aと、上限温度における光出力下限に対応した駆動電流bとの範囲内で、レーザダイオードの駆動電流を一定値xに制御することにより、図116に示す所定の範囲内の光出力を得ることができる。以上のように、本発明のレーザダイオードでは、目標光出力に対して電流を設定し、定電流で駆動すれば実用的な通信システムの構築が可能になる。

【第27実施例】

レーザダイオードは経年変化と共にしきい値電流がわずかずつ上昇していき寿命に達する。そこで経年変化により信号品質を劣化させない手段が望まれる。

【0607】

例えば、図117に示すようにレーザダイオード32に結合された通信経路410の途中にハーフミラー411を設け、ハーフミラー411で分岐された光ビームの強度を受光素子412で検出するようにすることもできる。この場合には、前記受光素子412が検出したレーザビーム強度の値、すなわちモニタ光量を発光制御部415および定電流電源416にフィードバックする。

【0608】

図示の例では、前記受光素子412の出力信号は、受光処理部413を介して通信制御部414に供給され、前記通信制御部414においては受光素子412が検出したモニタ光量に基づいて駆動電流の補正值が、モニタ光量とレーザダイオード32を駆動する駆動電流の補正值との間の関係を示す変換表414Aを使って求められる。かかる構成によれば、設定電流値を定期的または随時に、前記補正值により補正することで、経年変化による光出力の変動を除去することができ、実用的な通信システムの構築が可能になる。

【0609】

また、レーザダイオードの経年変化や異常の監視をするには、受信側での受光素子の出力がわかればよいので、受光側での受光素子の出力を、送信側にデータとして伝送することも可能である。例えば、光通信データとは別に、受光素子のデータを定期的に、あるいは随時に光送信部に伝送し、これを通信制御部から発光制御部に供給し、レーザダイオードの駆動電流を、前記モニタ光量に対応した補正電流を補正するようにしてもよい。かかる構成により、経年変化による光出力の変動を除去でき、実用的な通信システムの構築が可能になる。

[第 2 8 実施例]

次に本発明のさらに他の例について説明する。

【 0 6 1 0 】

図 1 1 8 は、本発明による長波長面発光レーザダイオード 3 2 を用いた通信システムの一例であり、光ファイバ 4 2 1 を接続したレーザダイオードモジュール 4 2 2 と、前記レーザダイオードモジュール 4 2 2 を担持する光回路基板 4 2 3 A と、これを挟み込むように配置され、空気の流路を形成する電子回路基板 4 2 3 B と 4 2 3 C とを格納した筐体 4 2 0 を含み、前記筐体 4 2 0 の側面は送風装置 4 2 4 A が設けられ、さらに前記送風装置 4 2 4 A に対向する側の側面には排出口 4 2 4 B が設けられている。前記電子回路基板 4 2 3 B、4 2 3 C 上には電子部品 4 2 3 a が実装されている。

【 0 6 1 1 】

前記送風装置 4 2 4 A はシロッコファン等の強制送風装置であり、筐体 4 2 0 内部に空気などの冷却媒体を給送し、給送された空気は、電子回路基板 4 2 3 B と 4 2 3 C との間での空間に導かれ、光回路基板 4 2 3 A 上のレーザダイオードモジュール 4 2 2 表面で熱交換する。レーザモジュールの表面で熱交換をした空気は、前記排出口 4 2 4 B から筐体外部に排出される。

【 0 6 1 2 】

図示の実施例では、最も発熱が小さい基板 4 2 3 B を下側に、大きい基板 4 2 3 C を上側配置している。

【 0 6 1 3 】

前記光回路基板 4 2 3 A のうち、電子回路基板 4 2 3 C に対向する面は、凹凸を減少させ、空気流の乱れを減少させている。なお、電子回路基板 4 2 3 B, 4 2 3 C の代わりに電子部品を搭載しない平板を用いた場合でも同様な効果が得られる。本実施例では送風装置 4 2 4 A を 1 個だけ使っているが、レーザ発振による発熱はレーザ素子の数が増すほど大きくなるので、レーザ素子の数に対応して送風装置 4 2 4 A の数を 2 個以上としてもよい。あるいは、送風量を増加させてもよい。これに合わせ、排出口 4 2 4 B の面積も増大させている。本実施例では送風装置 4 2 4 A を空気導入側に設定し、外部から空気を筐体内に導入しているが、送風装置を排出口 4 2 4 B に設置して、筐体内部の空気を機器外へ強制的に排出してもよい。さらに空気導入と排出とを、一組の強制送風装置を用いて行ってもよい。

[第 2 9 実施例]

図 1 1 9 は、本発明の長波長面発光レーザダイオード 3 2 を使ったレーザダイオードモジュールの一例を示す。

【0 6 1 4】

図 1 1 9 を参照するに、ここでは 2 個のレーザダイオード素子 3 2 A がレーザダイオードチップを構成する G a A s 基板 3 2 上にモノリシックに形成されており、前記 G a A s 基板 3 2 は熱伝導率が高い S i 実装基板 1 3 1 上に担持されている。さらに前記 S i 実装基板 1 3 1 は、より熱伝導率が高いセラミック基板 1 3 6 上に搭載されている。なお、前記セラミック基板 1 3 6 は、図 1 1 8 で示したような光回路基板 4 3 4 A 上に実装され、冷却される。また、前記レーザダイオード素子 3 2 A への電気接続が、前記セラミック基板 1 3 6 上の電極 1 3 6 A と前記レーザダイオード素子 3 2 A 上の電極とを結ぶボンディングワイヤによりなされている。

【0 6 1 5】

このような構成により、レーザダイオード素子 3 2 A 中において発生した熱は熱伝導により、G a A s 基板に輸送され、輸送された熱はより低温の S i 実装基板 1 3 1 に輸送される。さらに、より低温のセラミック基板 1 3 6 へと熱が移動

することにより、前記レーザダイオード素子 3 2 A の効率的な冷却が実現される。前記セラミック基板 1 3 6 の表面積は、構成部品の中で最も広く、従って、セラミック基板 1 3 6 は熱輻射による熱放出と空気による冷却で最も効率的に冷却される。

【 0 6 1 6 】

本発明に適用されるレーザダイオードチップを構成する GaAs は $0.54 \text{ W/cm} \cdot \text{K}$ の熱伝導率を有するが、Si の熱伝導率は $1.48 \text{ W/cm} \cdot \text{K}$ と、GaAs の値よりも大きい。また Si の熱伝導率より大きい材料として、例えば熱伝導率が $2.72 \text{ W/cm} \cdot \text{K}$ の BeO や、 $9.0 \text{ W/cm} \cdot \text{K}$ の C (ダイヤモンド) 等を使うことも可能である。ただし、これらの値は温度が 300 K のときのものである。

【 0 6 1 7 】

ところで二つの基板の接触面は、その表面粗さを小さくし、より密着度を向上させることにより、効率よく熱を伝達することができる。しかしながら、極度に面精度を上げて、コストがかさむだけでメリットは少ない。具体的には、 10 nm よりも面精度を上げようとすると、コスト高になって実用的でない。よって工業的に実用レベルにするには、表面粗さの下限を 10 nm 程度にすべきである。

【 0 6 1 8 】

また上限については、あまり面粗さが粗くては互いの基板を密着させることができないので、これも適度な粗さにしなければならない。本発明者はこの点に鑑み、鋭意検討・実験を行ってところ、表面粗さの値が 1000 nm 以下であれば、互いの基板が熱の移動面からみて密着状態とみなせることを見出した。実際にこの範囲内で基板 3 2, 1 3 1 および 1 3 6 を積層してレーザ発振を行ったところ、レーザダイオード素子 3 2 A により発生した熱がレーザチップ 3 2 から第 1 の基板 1 3 1 へ、そして第 2 の基板 1 3 6 へと移動し、いずれの部分にも熱が蓄積されることなく、効率よく放熱できることが確認された。また、これに伴い、発熱によるレーザダイオードの閾値電流密度変動を低減できた。このように、本実施例により、安定したレーザ発光を行うことが可能になった。

【 0 6 1 9 】

図 1 2 0 は、長波長面発光レーザダイオードモジュールの一例であり、レーザダイオード素子 3 2 A と、前記素子 3 2 A を形成している G a A s 基板 3 2 とを、熱伝導層 1 3 7 を介して S i 実装基板 1 3 1 に固定し、さらに前記 S i 実装基板 1 3 1 をセラミック基板 1 3 6 に、別の熱伝導層 1 3 8 を介して固定した構成を示す。

【 0 6 2 0 】

本実施例では、それぞれの基板 3 2, 1 3 1 および 1 3 6 の接触面をアルミナ砥粒を使った機械研磨により、10 から 1 0 0 0 n m の表面粗さ R a とし、この隙間を熱伝導層 1 3 7 あるいは 1 3 8 で充填している。

【 0 6 2 1 】

ここで用いた熱伝導層 1 3 7 あるいは 1 3 8 としては、エポキシ樹脂やシリコン樹脂、アクリル樹脂等の有機高分子材料に、アルミニウムや金、銀、銅等の金属微粒子を分散したものを使い、3 ~ 1 0 0 μ m の厚みで塗布した。金属微粒子の大きさは数 n m から 1 0 0 n m で、分散配合比は樹脂 1 に対し金属微粒子を 0. 1 ~ 1 とした。

【 0 6 2 2 】

図 1 2 1 は本実施例の長波長面発光レーザダイオードモジュールの一例で、図 1 1 8 のレーザダイオードモジュール 4 2 2 と光ファイバ 4 2 1 とを搭載したレーザモジュールパッケージ 4 3 1 よりなり、前記レーザモジュールパッケージ 4 3 1 の外側の一面には、底辺の長さ 1 m m, 高さが 3 m m で断面形状が三角形の冷却フィン 4 3 1 が 8 枚設けられ、前記冷却フィンに平行に空気が給送される。

【 0 6 2 3 】

なお、本実施例のレーザモジュールパッケージ 4 3 1 の外面は、前記セラミック基板 1 3 6 と同等の放熱の役割を果たし、同時にレーザモジュールのパッケージング機能をも有するものである。この冷却フィン 4 3 1 を設ける面は、空気の送風方向に平行な他の面であってもよく、その形状や数は、図示された構成に限定されるものではない。

【 0 6 2 4 】

本実施例では、レーザモジュールパッケージ 4 3 1 の外側に冷却フィン 4 3 1 A を設けた形状としたが、本実施例の要点は、熱源を含む第 1 の基板と熱源を含まない第 2 の基板とを積層した放熱構造において、第 2 の基板のうち、前記第 1 の基板と密着していない部分の表面積を、密着している部分の表面積より大きくし、放熱効率を高めよる点にある。よって、第 2 の基板において、第 1 の基板と接していない部分の表面積が増加するような形状であれば、上記のフィン形状以外の形状を使うことも可能である。

【 0 6 2 5 】

前述のように本発明に使用されるレーザ発振波長が $1.1 \sim 1.7 \mu\text{m}$ 帯の面発光レーザダイオードでは、単一のチップ上に複数のレーザダイオード素子を簡単に形成することが可能であり、レーザダイオードアレイを使った大容量通信用システムに特に好適であるが、アレイを構成するレーザダイオード素子が多くなればなるほど熱の問題は重要になる。よって、本実施例の構成は、レーザ素子の数が増えるほど、その効果を発揮する。

〔第 3 0 実施例〕

次に本発明のさらに他の例について説明する。

【 0 6 2 6 】

図 1 2 2、図 1 2 3 は、本実施例による長波長面発光レーザダイオードを用いた通信システムのレーザチップの一例であり、図 1 2 2 はチップ上にレーザダイオード素子を 1 次元に、図 1 2 3 はチップ上にレーザダイオード素子を 2 次元にレーザ素子を配列した例を示す。

【 0 6 2 7 】

図中、斜線を付したレーザダイオード素子には、それに対応した受光素子が設けられており、光出力をモニタすることができる。これに対し斜線を付していないレーザ素子は、対応した受光素子が設けられておらず、光出力を外部に取り出すことが可能である。

【 0 6 2 8 】

図 1 2 4 は、図 1 2 2 の構成を、別の角度から見た様子を示す。

【0629】

図124を参照するに、レーザダイオード素子32Aのうち、図122において斜線を付したいくつかには、受光素子142Pが設けられており、このためこれらのレーザダイオード素子32Aのレーザビームは遮断されるが、受光素子142Pが設けられていないレーザダイオード素子32Aからは光出力を取り出すことができ、レーザビームは集光レンズ353によって光ファイバ352に注入される。

【0630】

受光素子142Pを設けていないレーザダイオード素子32Aの光出力は、そのレーザダイオード素子32Aに最も近い受光素子142P、あるいはそのレーザダイオード素子32Aの近傍に設けられた複数の受光素子142Pの出力値をもとに算出することができる。すなわち、本実施例では、このようにして求められたレーザダイオード素子32Aの出力値をもとに、それぞれのレーザダイオード素子32Aの出力を制御する。各レーザダイオード素子32A毎の出力のバラツキは、これを事前に測定し、補正係数を求めておけば、容易に補正できる。

【0631】

図125、126および130は、図124の構成を使ったレーザダイオード素子32Aの出力制御の例を示す。

【0632】

図125を参照するに、レーザダイオードチップ32は図122と同様なレーザダイオード素子32Aの1次元アレイを含むが、本実施例では説明の都合上、レーザダイオード素子32Aに(1)～(6)の番号を付している。

<例1>

例1では、図126に示す通り、図125のチップにおいて、 O_i を*i*番目のレーザダイオード素子32Aの出力をモニタする受光素子142Pの出力値、 I_i を*i*番目のレーザ素子の駆動電流とした時、図106の駆動回路106を使って、

I_1 を $a_1 O_1$ の値を元に制御し、

I_2 を $a_2 O_1$ の値を元に制御し、

I_3 を $a_3 O_4$ の値を元に制御し、
 I_4 を $a_4 O_4$ の値を元に制御し、
 I_5 を $a_5 O_4$ の値を元に制御し、
 I_6 を $a_6 O_7$ の値を元に制御し、
 I_7 を $a_7 O_7$ の値を元に制御する動作を行う。

【0633】

ここで a_i は補正係数であり、事前に様々な条件でそれぞれのレーザ素子の出力を測定し、実際の各レーザ素子出力の値ともっとも誤差が小さくなるように設定しておく。

<例2>

例2では、図127に示す通り、図125のチップ32において、 O_i を i 番目のレーザダイオード素子の出力をモニタする光検出器142Pの出力、 I_i を i 番目のレーザ素子の駆動電流として、駆動回路106により、

I_1 を $a_1 O_1$ の値を元に制御し、
 I_2 を $a_2 O_1 + b_2 O_4$ の値を元に制御し、
 I_3 を $a_3 O_1 + b_3 O_4$ の値を元に制御し、
 I_4 を $a_4 O_4$ の値を元に制御し、
 I_5 を $a_5 O_4 + b_5 O_7$ の値を元に制御し、
 I_6 を $a_6 O_4 + b_6 O_7$ の値を元に制御し、
 I_7 を $a_7 O_7$ の値を元に制御する動作を行う。

【0634】

ここで a_i と b_i は補正係数で、事前に様々な条件でそれぞれのレーザ素子の出力を測定し、実際の各レーザ素子出力の値ともっとも誤差が小さくなるように設定しておく。

<例3>

例3では、図128に示すようにレーザダイオード素子32Aがレーザダイオードチップ32中において2次元アレイを構成する。この例では、 O_{ij} を ij 番目のレーザダイオード素子32Aの出力をモニタする光検出器の出力、 I_{ij} を ij 番目のレーザ素子の駆動電流とした時、前記駆動回路161により、

I_{00} を $a_{00} O_{00}$ の値を元に制御し、
 I_{01} を $a_{01} O_{00}$ の値を元に制御し、
 I_{10} を $a_{10} O_{00}$ の値を元に制御し、
 I_{11} を $a_{11} O_{00}$ の値を元に制御し、
 I_{02} を $a_{02} O_{03}$ の値を元に制御し、
 I_{03} を $a_{03} O_{03}$ の値を元に制御し、
 I_{04} を $a_{14} O_{03}$ の値を元に制御し、
 I_{12} を $a_{12} O_{03}$ の値を元に制御し、
 I_{13} を $a_{13} O_{03}$ の値を元に制御し、
 I_{14} を $a_{14} O_{03}$ の値を元に制御し、・・・

という制御により、レーザダイオード素子 3 2 A の最も近い光検出器の出力を 1 つ利用して制御する。 a_{ij} は補正係数であり、事前に様々な条件でそれぞれのレーザ素子の出力を測定し、実際の各レーザ素子出力の値ともっとも誤差が小さくなるように設定しておく。

＜例 4＞

図 1 2 9 の例では、 O_{ij} を ij 番目のレーザダイオード素子 3 2 A の出力をモニタする光検出器の出力、 I_{ij} を ij 番目のレーザ素子の駆動電流として、
 I_{00} を $a_{00} O_{00}$ の値を元に制御し、
 I_{01} を $a_{01} O_{00} + b_{01} O_{04} + c_{01} O_{22}$ の値を元に制御し、
 I_{11} を $a_{11} O_{00} + b_{11} O_{22}$ の値を元に制御し、
 I_{21} を $a_{21} O_{00} + b_{21} O_{22} + c_{21} O_{40}$ の値を元に制御し、・・・
 という制御により、最も近い光検出器の出力を複数個利用して個々のレーザダイオード素子 3 2 A を制御する。ここで a_{ij} と b_{ij} と c_{ij} とは補正係数で、事前に様々な条件でそれぞれのレーザダイオード素子の出力を測定し、実際の各レーザダイオード素子 3 2 A の出力値からの誤差が最も小さくなるように設定される。

〔第 3 1 実施例〕

次に、本発明のさらに他の例について説明する。

【 0 6 3 5 】

次に、本発明による長波長面発光レーザダイオードを用いた通信システムに具備される、レーザダイオードアレイを含むレーザアレイモジュールの製造管理について説明する。なお、レーザアレイモジュールとは、複数個の面発光レーザダイオードをモジュール化したという意味であり、単一のチップ上に複数個の面発光レーザダイオード素子を形成したもののや、このようなチップを複数個、さらに配列したものなどを含む。また、単一のチップに単一のレーザダイオード素子を形成したものを複数個配列したものも含まれる。

【 0 6 3 6 】

通常、このようなレーザアレイモジュールの製造においては、所定の製造工程により、レーザダイオードアレイを含むレーザチップモジュールが製造される。

【 0 6 3 7 】

前記製造工程においては、アレイ製作のためにレーザダイオード素子あるいはレーザダイオードチップを所定数用意し、これを配列することにより、レーザアレイモジュールが形成される。

【 0 6 3 8 】

その後、品質検査工程でアレイ化されたレーザチップモジュールに対し品質検査が行われ、その際、モジュール内に実装されたレーザダイオード素子の全てについて、またレーザダイオードチップの全てに対して、品質検査が行なわれる。全ての素子およびチップについて所望の品質が確保されていることが確認されれば、レーザアレイモジュールは、製品として製品出庫可能な状態となる。

【 0 6 3 9 】

これに対し、レーザアレイモジュール内に実装されたレーザダイオード素子チップ n 個の中で 1 個でも所定の製品特性値に満たないレーザダイオード素子チップが検出された場合、このレーザチップモジュールは通常は不良品扱いとなる。

【 0 6 4 0 】

これに対し、 n 個の要素よりなるアレイ構造を有する機能モジュールの製造において、レーザダイオード素子あるいはチップの欠品数 c が、レーザチップモジュール内に実装されるレーザダイオード要素あるいはチップの規定数 n 以下であ

ても、 $(n - c)$ 個の良品が前記レーザチップモジュール内に実装された場合に、このレーザチップモジュールを正当な商品として扱うことができれば、その生産性は非常に高いものとなる。

【0641】

本発明者は、このような高い生産性を生み出せる製品・製造プロセスおよびその工法を見出すことで、より高い歩留まりが得られることの重要性にいち早く気付いた。そして同機能で単一機能の要素を複数個使用してアレイを形成する製造プロセスおよびその工法について鋭意検討した結果、図130および図131に示す製造プロセスおよび品質管理工程を提案する。

【0642】

以下、本実施例を、図130および図131を用いて詳述する。

【0643】

図130は、本発明のレーザダイオード素子あるいはチップをアレイ化したレーザダイオードモジュールの製造・製品化プロセスを示す。

【0644】

図130を参照するに、レーザダイオード素子あるいはチップの製造はウェハプロセス工程S1、レーザダイオードアレイ形成工程S2およびレーザダイオードモジュール製造工程S3を含む所定の製造工程により実行され、工程S2およびS3で形成されたアレイあるいはモジュールに対し、工程S4において品質検査が行われ、欠品であるか否かが検査される。

【0645】

本実施例では、品質検査の結果、否と判定されたレーザダイオード素子あるいはチップがあっても、その欠品数 c が、レーザチップモジュール内に実装されるレーザダイオード素子あるいはチップの全数を n として、 $n - c$ の値が所定値以下であれば、 $(n - c)$ 個の品質を有する正商品として出庫する。図130のプロセスでは、この判定がステップS6においてなされる。もちろん、レーザダイオード素子チップの全数 n が欠品となった場合には、LDモジュールは不良品とされる。

【0646】

図 1 3 0 の品質検査工程 S 4 では、図 1 3 1 に示すように、品質検査対象である検査用のレーザダイオードアレイやレーザダイオードモジュールについて、各チャンネル (c h) 毎に、例えば高周波プローブなどのアナライザを使った検査工程 S 4 1 により、品質および特性値を抽出する。

【 0 6 4 7 】

このようにして得られた該各 c h ごとの品質・特性値は、次に品質チェック工程 S 4 2 によおいてチェックされる。該品質チェック工程 S 4 2 においては、モジュールに実装されるレーザダイオード素子あるいはチップの全てに対して、所定の品質が確保されているか否かが検査・判定される。この判定は、例えば I - L 特性や I - V 特性、ファイバ結合損失、パルス変調特性、温度依存性などの項目について行われる。さらに、判定の結果に基づいて、正常に稼動しているレーザダイオード素子チップ数に対応したレーザダイオードモジュールとして製品の在庫がなされる。

【 0 6 4 8 】

以上の説明より明らかなように、本実施例では、このような光通信システムに使用される 1. 1 ~ 1. 7 μ m 帯の面発光レーザダイオードを光源とするシステムにおいて、それに使用される複数のレーザダイオード素子を内在させたレーザチップモジュールを、そのモジュールの状況に応じて、有効に製品として使用することができる。

【 0 6 4 9 】

すなわち、n のレーザダイオード素子のうち、その全てが完全に動作しなかったとしても、すなわち (n - c) 個しか動作しなかったとしても、このようなモジュールは、(n - c) 個用のモジュールとして、これに適した用途に使うことができる。これにより、製造されたレーザダイオード素子あるいはモジュールを有効に利用することが可能になる。

【 0 6 5 0 】

従来は、発振波長が 1. 1 ~ 1. 7 μ m の長波長帯域において、アレイ化が容易で量産性に優れた面発光型のレーザダイオード素子が存在しなかったが、前述のような本発明の工夫により、世界で最初にこのような素子が実現でき、これに

より、大容量で効率的な光ファイバ通信システムへの道も初めて開かれた。

【 0 6 5 1 】

以上、本発明を好ましい実施例について説明したが、本発明はかかる特定の実施例に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載した要旨内において様々な変形・変更が可能である。

【 0 6 5 2 】

【発明の効果】

請求項 1 ～ 3 記載の本発明によれば、コンピュータ・ネットワークや長距離大容量通信の幹線系など、光ファイバ通信に適した $1.1 \sim 1.7 \mu\text{m}$ 帯域の波長において発振し、動作電圧、発振閾値電流等が低く、発熱が小さく、安定した発振を行うことができる面発光レーザダイオードが従来は存在しなかったが、本発明によれば、半導体分布ブラッグ反射鏡を工夫することにより、上記波長域でレーザ発振し、動作電圧および発振閾値電流等を低減でき、レーザ素子の発熱も低減でき、安定した発振を行う面発光レーザダイオードが実現され、このような面発光レーザダイオードを使うことにより、低い費用で実用的な 2 地点間光送受信システムを実現することが可能になった。

【 0 6 5 3 】

さらに、このような 2 地点間光送受信システムを構築するにあたり、本実施例では伝送路の方向変換を、光ファイバを局所的な角度が形成されないように曲げて行っているので、光ファイバを破損することなく、容易かつ安い費用で 2 地点間を接続する光送受信システムが実現できる。

【 0 6 5 4 】

請求項 4 ～ 6 記載の本発明によれば、コンピュータ・ネットワーク、長距離大容量通信の幹線系など光ファイバ通信が期待されているレーザ発振波長が $1.1 \mu\text{m}$ 帯～ $1.7 \mu\text{m}$ 帯の分野において、動作電圧、発振閾値電流等を低くでき、レーザ素子の発熱も少なく安定した発振ができる面発光レーザダイオードおよびそれを用いた光送受信システムが存在しなかったが、本発明のように半導体分布ブラッグ反射鏡を工夫することにより、動作電圧、発振閾値電流等を低くでき、レーザ素子の発熱も少なく安定した発振ができ、また低コストで実用的な建物内

(構内) 光送受信システムが実現できた。

【 0 6 5 5 】

さらに、このような光構内送受信システムを構築するにあたり、伝送路の方向変換のための反射部材を設けるようにしたので、建物の形状に合わせて効率よく伝送路を配置できるようになり、不要な伝送路が目に触れるところに露出したり、建物の天井、床下あるいは壁内部に必要以上に伝送路が面積を占有したりすることがなく、建物設計が効果的にできるようになるとともに美的設計への自由度が増えた。

【 0 6 5 6 】

請求項 7 ～ 9 記載の本発明によれば、装置内部にレーザ発光光源の光信号を空間伝送する光送受信システムを設けたので、内部の信号授受をこの光送受信システムで行うことができ、装置内部で信号授受に使用する導線ケーブルを省略することが可能となった。従来ややもすると装置内部で信号授受に使用する導線ケーブルが複雑に入り組み、そのレイアウト上の処理が煩雑であったが、使用する導線ケーブルの数を減らすことができたので、煩雑さが解消できるのみならず、装置内部の各部品／ユニット等のレイアウトの自由度が増えた。またこの光送受信システムのレーザ発光光源および受光ユニットのそれぞれの発光素子部および受光素子部にそれらの素子をカバーするカバー部材を設けるようにしたので、発光素子部および受光素子部が装置内部を漂う異物などによって破損することが防止でき、この光送受信システムが安定して動作できるようになった。

【 0 6 5 7 】

また、このような装置内部の光送受信システムのレーザ発光光源として、レーザ発振波長が $1.1 \mu\text{m}$ 帯 ～ $1.7 \mu\text{m}$ 帯の面発光レーザダイオードを用いるとともに、この面発光レーザダイオードの半導体分布ブラッグ反射鏡を工夫したので、動作電圧、発振閾値電流等を低くでき、レーザ素子の発熱も少なく安定した発振ができるようになり、低コストで実用的な光送受信システムとすることができた。

【 0 6 5 8 】

請求項 10 記載の本発明によれば、このような光送受信システムを電子写真原

理を用いた記録装置に設けることにより、この装置内部で信号授受に使用する導線ケーブルを省略することが可能となった。また、このような記録装置は、装置内部で、トナーや紙粉が絶えず舞っていて、光送受信システムの発光素子部や受光素子部に悪影響を及ぼすが、本発明ではそれらの素子をカバーするカバー部材を設けるようにしたので、そのような悪影響を防止でき、この光送受信システムが安定して動作できるようになった。

【 0 6 5 9 】

請求項 1 1 ～ 1 3 記載の本発明によれば、コンピュータ・ネットワーク、長距離大容量通信の幹線系など光ファイバ通信が期待されているレーザ発振波長が $1.1 \mu\text{m}$ 帯～ $1.7 \mu\text{m}$ 帯の分野において、動作電圧、発振閾値電流等を低くでき、レーザ素子の発熱も少なく安定した発振ができる面発光レーザダイオードおよびそれを用いた通信システムが存在しなかったが、本発明のように半導体分布ブラッグ反射鏡を工夫することにより、動作電圧、発振閾値電流等を低くでき、レーザ素子の発熱も少なく安定した発振ができ、また低コストで実用的な光通信システムが実現できた。

【 0 6 6 0 】

すなわち、従来このような用途に使用できるレーザ発振波長が $1.1 \mu\text{m}$ 帯～ $1.7 \mu\text{m}$ 帯の長波長面発光レーザダイオードが存在しなかったが、本発明のように半導体分布ブラッグ反射鏡を工夫した面発光レーザダイオード素子チップにより、動作電圧、発振閾値電流等を低くでき、発熱も少ない省エネルギー、低コストの安定した光送受信システム実現できた。

【 0 6 6 1 】

請求項 1 4 ～ 1 6 記載の本発明によれば、コンピュータ・ネットワーク、長距離大容量通信の幹線系など光ファイバ通信が期待されているレーザ発振波長が $1.1 \mu\text{m}$ 帯～ $1.7 \mu\text{m}$ 帯の分野において、動作電圧、発振閾値電流等を低くでき、レーザ素子の発熱も少なく安定した発振ができる面発光レーザダイオードおよびそれを用いた通信システムが存在しなかったが、本発明のように半導体分布ブラッグ反射鏡を工夫することにより、動作電圧、発振閾値電流等を低くでき、レーザ素子の発熱も少なく安定した発振ができ、また低コストで実用的な光通信

システムが実現できた。

【 0 6 6 2 】

さらに、従来、このようなレーザ発振波長が $1.1\ \mu\text{m}$ 帯～ $1.7\ \mu\text{m}$ 帯の分野における実用的な光通信システムが無かったことにより、これに使用される面発光レーザダイオード素子チップ、もしくは当該チップを収容するモジュールパッケージから引き出される光ファイバケーブルのファイバケーブル長をどのようにすればよいのかという検討がされてこなかったが、本発明のようにこの長さを 1mm 以上とすることで当該パッケージのアセンブリ製作の生産性を著しく向上させることが可能となった。

さらに当該チップを収容するモジュールパッケージから引き出される光ファイバに伝送用のファイバケーブルを接続して光通信システムを構築する際にも、上記のようにこの光ファイバの長さを 1mm 以上とすることでそれらの接続が容易にかつ確実に行えるようになり、信頼性の高い光通信システムが容易に構築できるようになった。

請求項 17～19 記載の本発明によれば、コンピュータ・ネットワーク、長距離大容量通信の幹線系など光ファイバ通信が期待されているレーザ発振波長が $1.1\sim 1.7\ \mu\text{m}$ 帯の分野において、動作電圧、発振閾値電流等を低くでき、レーザ素子の発熱も少なく安定した発振ができる面発光レーザダイオードおよびそれを用いた通信システムが存在しなかったが、本発明のように半導体分布ブラッグ反射鏡を工夫することにより、動作電圧、発振閾値電流等を低くでき、レーザ素子の発熱も少なく安定した発振ができ、また低コストで実用的な光通信システムが実現できた。

【 0 6 6 3 】

さらに、光ファイバのコア径に対し、光ファイバの長さを規定する事で、効率的な光ファイバの端末処理が容易となり、高信頼性で低コストな光通信が実現できた。

【 0 6 6 4 】

請求項 20～22 記載の本発明によれば、コンピュータ・ネットワーク、長距離大容量通信の幹線系など光ファイバ通信が期待されているレーザ発振波長が 1

． 1 ～ 1. 7 μm 帯の分野において、動作電圧、発振閾値電流等を低くでき、レーザ素子の発熱も少なく安定した発振ができる面発光レーザダイオードおよびそれを用いた通信システムが存在しなかったが、本発明のように半導体分布ブラッグ反射鏡を工夫することにより、動作電圧、発振閾値電流等を低くでき、低消費電力で、レーザ素子の発熱も少なく安定した発振ができ、また低コストで実用的な光通信システムが実現できた。

【 0 6 6 5 】

さらに、レーザチップとそのレーザチップを実装する基板材料の線膨張係数の差を $2 \times 10^{-6} / \text{K}$ 以内であるようにすることによって、高歪の GaInNAs 活性層をもつ長波長面発光型レーザの線膨張係数と実装基板の線膨張係数の差を小さくできるため、熱応力の発生が抑制され、結果として熱応力によって発生するレーザダイオードの特性変動を低減しつつ、寿命の低下を防止でき、信頼性の高い光通信システムが実現できた。

【 0 6 6 6 】

請求項 2 3 ～ 2 5 記載の本発明によれば、コンピュータ・ネットワーク、長距離大容量通信の幹線系など光ファイバ通信が期待されているレーザ発振波長が 1. 1 ～ 1. 7 μm 帯の分野において、動作電圧、発振閾値電流等を低くでき、レーザ素子の発熱も少なく安定した発振ができる面発光レーザダイオードおよびそれを用いた通信システムが存在しなかったが、本発明のように半導体分布ブラッグ反射鏡を工夫することにより、動作電圧、発振閾値電流等を低くでき、レーザ素子の発熱も少なく安定した発振ができ、また低コストで実用的な光通信システムが実現できた。

【 0 6 6 7 】

さらに本発明のレーザチップの発光部と光学的に結合される光ファイバは、発光部の方向にファイバ軸方向が押圧状態にされて機械的に接続されているので、レーザ発光部と光ファイバの良好な光学的カップリングが得られ、信頼性の高い光通信システムとすることができた。

【 0 6 6 8 】

請求項 2 6 ～ 2 8 記載の本発明によれば、コンピュータ・ネットワーク、長距

離大容量通信の幹線系など光ファイバ通信が期待されているレーザ発振波長が1.1 μm 帯～1.7 μm 帯の分野において、動作電圧、発振閾値電流等を低くでき、レーザ素子の発熱も少なく安定した発振ができる面発光レーザダイオードおよびそれを用いた通信システムが存在しなかったが、本発明のように半導体分布ブラッグ反射鏡を工夫することにより、動作電圧、発振閾値電流等を低くでき、レーザ素子の発熱も少なく安定した発振ができ、また低コストで実用的な光通信システムが実現できた。

【0669】

さらに、従来端面発光型レーザを用いた場合に比べ、本発明のような動作電圧、発振閾値電流等を低くできる面発光レーザダイオードを用いることで、低消費電力な光通信システムを実現でき、また、従来の端面発光レーザダイオードの場合には、レーザダイオードと光ファイバまたは光導波路の間にレンズ光学系を挿入する必要があったが、本発明のようなレーザダイオードと光ファイバまたは光導波路の位置関係にすることで、レンズを用いる必要がないため部品点数が少なく、光軸方向に関してアライメントが緩やかで光ファイバまたは光導波路と良好な光学的結合効率を実現できた。

【0670】

請求項29～31記載の本発明によれば、コンピュータ・ネットワーク、長距離大容量通信の幹線系など光ファイバ通信が期待されているレーザ発振波長が1.1～1.7 μm 帯の分野において、動作電圧、発振閾値電流等を低くでき、レーザ素子の発熱も少なく安定した発振ができる面発光レーザダイオードおよびそれを用いた光通信システムが存在しなかったが、本発明のように半導体分布ブラッグ反射鏡を工夫することにより、動作電圧、発振閾値電流等を低くでき、レーザ素子の発熱も少なく安定した発振ができ、また低コストで実用的な光通信システムが実現できた。

【0671】

さらに、従来1.1～1.7 μm 帯の端面発光型レーザと単一モード光ファイバとのカップリングを高効率にするにはレーザの光出射部の形状やカップリングレンズ系などを工夫しなければならなかったが、本発明の面発光レーザを用いる

と同帯域において単一モード光ファイバへ高効率でカップリングすることができる光通信システムが実現できた。

【0672】

請求項32～34記載の本発明によれば、コンピュータ・ネットワーク、長距離大容量通信の幹線系など光ファイバ通信が期待されているレーザ発振波長が1.1 μm 帯～1.7 μm 帯の分野において、動作電圧、発振閾値電流等を低くでき、レーザ素子の発熱も少なく安定した発振ができる面発光レーザダイオードおよびそれを用いた通信システムが存在しなかったが、本発明のように半導体分布ブラッグ反射鏡を工夫することにより、動作電圧、発振閾値電流等を低くでき、レーザ素子の発熱も少なく安定した発振ができ、また低コストで実用的な光通信システムが実現できた。

【0673】

さらに、面発光レーザダイオード素子チップの光射出部の面積とレーザ素子動作電圧との関係を最適化したので、レーザ素子が破損しないで良好に使用できる光通信システムが実現できた。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオードの素子構造を示す断面図である。

【図2】

図1のレーザダイオードで使われる分布ブラッグ反射鏡の反射スペクトルを示す図である。

【図3】

本発明の一実施例に係る長波長面発光レーザダイオードの半導体分布ブラッグ反射鏡の構成を示す断面図である。

【図4】

本発明に適用される半導体分布ブラッグ反射鏡のヘテロスパイク緩衝層の組成傾斜率をAlAs層よりもGaAs層の近くで大きくした例を示す図である。

【図5】

ヘテロスパイク緩衝層の A l 組成を線形に変化させた例を示す図である。

【図 6】

図 3 の分布ブラッグ反射鏡の微分シート抵抗を見積った結果を示す図である。

【図 7】

図 3 の分布ブラッグ反射鏡を A l A s と G a A s の積層により形成した場合の、ヘテロ界面近傍における熱平衡状態でのバンド構造を示す図である。

【図 8】

図 4 のヘテロスパイク緩衝層の熱平衡状態におけるバンド構造を示す図である。

【図 9】

ヘテロスパイク緩衝層のバンド構造の一例を示す図である。

【図 1 0】

ヘテロスパイク緩衝層のバンド構造の一例を示す図である。

【図 1 1】

ヘテロスパイク緩衝層のバンド構造の一例を示す図である。

【図 1 2】

ヘテロスパイク緩衝層のバンド構造の一例を示す図である。

【図 1 3】

分布ブラッグ反射鏡の微分シート抵抗とヘテロスパイク緩衝層中における A l 組成プロファイルの関係を示す図である。

【図 1 4】

図 3 の分布ブラッグ反射鏡の微分シート抵抗とヘテロスパイク緩衝層中における A l 組成プロファイルの関係を示す別の図である。

【図 1 5】

ヘテロスパイク緩衝層の別のバンド構造を示す図である。

【図 1 6】

分布ブラッグ反射鏡の反射率とヘテロスパイク緩衝層の膜厚との関係を示す図である。

【図 1 7】

分布ブラッグ反射鏡の抵抗率とヘテロスパイク緩衝層の膜厚との関係を示す図である。

【図 1 8】

分布ブラッグ反射鏡の抵抗率とヘテロスパイク緩衝層の膜厚との関係を示す別の図である。

【図 1 9】

分布ブラッグ反射鏡の抵抗率とヘテロスパイク緩衝層の膜厚との関係を示すさらに別の図である。

【図 2 0】

ヘテロスパイク緩衝層のバンド構造のさらに別の例を示す図である。

【図 2 1】

図 2 0 のヘテロスパイク緩衝層を有する分布ブラッグ反射鏡について求めた抵抗率とヘテロスパイク緩衝層の膜厚との関係を示す図である。

【図 2 2】

図 2 0 のヘテロスパイク緩衝層を有する分布ブラッグ反射鏡について求めた抵抗率とヘテロスパイク緩衝層の膜厚との関係を示す別の図である。

【図 2 3】

様々な分布ブラッグ反射鏡について求めた抵抗率とヘテロスパイク緩衝層の膜厚との関係を示す図である。

【図 2 4】

様々な分布ブラッグ反射鏡について求めた抵抗率とヘテロスパイク緩衝層の膜厚との関係を示す別の図である。

【図 2 5】

様々な分布ブラッグ反射鏡について求めた反射率とヘテロスパイク緩衝層の膜厚との関係を示す図である。

【図 2 6】

様々な分布ブラッグ反射鏡について求めた反射率とヘテロスパイク緩衝層の膜厚との関係を示す別の図である。

【図 2 7】

本発明の一実施例に係る長波長面発光レーザダイオードの他の構成を示す断面図である。

【図 2 8】

本発明の一実施例に係る GaInNAs / GaAs 2 重量子井戸構造からなる活性層の室温フォトルミネッセンススペクトルを示す図である。

【図 2 9】

試料構造を示す図である。

【図 3 0】

窒素と酸素濃度の深さ方向分布を示す図である。

【図 3 1】

A 1 濃度の深さ方向分布を示す図である。

【図 3 2】

キャリアガスパージで成長中断する場合の構造を示す図である。

【図 3 3】

成長中断工程を設けて水素でパージした場合の A 1 濃度の深さ方向分布を示す図である。

【図 3 4】

成長中断工程を設けて水素でパージした場合の窒素と酸素濃度の深さ方向分布を示す図である。

【図 3 5】

本発明の一実施例に係る長波長面発光レーザダイオード素子を形成したウエハ基板ならびにレーザ素子チップを示す平面図である。

【図 3 6】

発光光源と受光ユニットを伝送路で直線的に結んだ光送受信システムの例を示す図である

【図 3 7】

上記光送受信システムの概要を示す図である。

【図 3 8】

障害物をさけるために発光光源と受光ユニットを結ぶ伝送路を直角に曲げた例

を示す図である。

【図 3 9】

本発明の光送受信システムの一例であり、障害物をさけて発光光源と受光ユニットを伝送路を曲げながら結ぶようにした例を示す図である。

【図 4 0】

本発明の他の光送受信システムの例であり、障害物をさけて発光光源と受光ユニットを伝送路を曲げながら結ぶようにした例を示す図である。

【図 4 1】

本発明の長波長面発光レーザダイオード素子を光源とした光送受信システムの 1 例を示す図である。

【図 4 2】

本発明の光送受信システムを構内に配置した部屋の例を示す平面図である。

【図 4 3】

従来の光送受信システムを構内に配置した部屋の例を示す平面図である。

【図 4 4】

従来の光送受信システムを構内に配置した部屋の他の例を示す平面図である。

【図 4 5】

本発明の光送受信システムの一例を示す概念図である。

【図 4 6】

本発明の光送受信システムの他の例を示す概念図である。

【図 4 7】

本発明が適用される電子写真複写機の一例を示す図である。

【図 4 8】

本発明の光送受信システムを内蔵した電子写真複写機の一例を示す図である。

【図 4 9】

本発明が適用されるインクジェット記録装置の一例を示す図である。

【図 5 0】

本発明の光送受信システムを内蔵したインクジェット記録装置の一例を示す図である。

【図 5 1】

本発明の光送受信システムのさらに他の例を示す概念図である。

【図 5 2】

本発明の一実施例に係る長波長面発光レーザダイオードおよび接続する光通信システムの例を示す図である。

【図 5 3】

本発明の一実施例に係る長波長面発光レーザダイオードおよび接続する光通信システムを使って構成した双方向システムを示す図である。

【図 5 4】

本発明の一実施例に係る長波長面発光レーザダイオードおよび接続する光通信システムで、複数のファイバ群を利用した大容量光通信システムの例を示す図である。

【図 5 5】

本発明の一実施例に係る長波長面発光レーザダイオードおよび接続する光通信システムを示す図である。

【図 5 6】

本発明の一実施例に係る長波長面発光レーザダイオードを使った光通信システムで使われる光接続モジュールの構成を示す図である。

【図 5 7】

本発明の一実施例に係る長波長面発光レーザダイオードを使った光通信システムで使われる光接続モジュールの構成を示す別の図である。

【図 5 8】

本発明の一実施例に係る長波長面発光レーザダイオードを使った光通信システムの他の構成を示す図である。

【図 5 9】

本発明の一実施例に係る長波長面発光レーザダイオードを使った光通信システムの他の構成を示す別の図である。

【図 6 0】

本発明の一実施例に係る長波長面発光レーザダイオードを使った光通信システ

ムの光接続モジュールの構成を説明する図である。

【図 6 1】

本発明の一実施例に係る長波長面発光レーザダイオードを使った光通信システムの構成を示す図である。

【図 6 2】

本発明の一実施例に係る長波長面発光レーザダイオードを使った光通信システムにおけるガイド用光ファイバの長さ設定を示す図である。

【図 6 3】

本発明の一実施例に係る長波長面発光レーザダイオード素子と複数の光ファイバを用いた光通信システムの構成を示す図である。

【図 6 4】

本発明の一実施例に係る長波長面発光レーザダイオード素子における光ビームの出射角を示す図である。

【図 6 5】

(A) ～ (C) は c、本発明の一実施例に係る複数のファイバを樹脂で固定する過程を示す図である。

【図 6 6】

(A) ～ (C) は、本発明の一実施例に係る長波長面発光レーザダイオード素子と複数の光ファイバの接続形態を示す図である。

【図 6 7】

本発明の一実施例に係る最密充填における光ファイバの配置可能な位置を示す図である。

【図 6 8】

本発明の一実施例に係る最密充填で複数のファイバを配置した例を示す図である。

【図 6 9】

本発明の一実施例に係る長波長面発光レーザダイオードに接続する光ファイバの構成を示す断面図である。

【図 7 0】

本発明の一実施例に係る長波長面発光レーザダイオードおよび接続する光ファイバを用いた光通信システムの構成を示す平面図である。

【図 7 1】

本発明の一実施例に係る長波長面発光レーザダイオードおよび接続する光ファイバを用いた双方向の光通信システムの構成を示す平面図である。

【図 7 2】

本発明の一実施例に係る長波長面発光レーザダイオードおよび接続する光ファイバの機能を分離したビル内 LAN の構成を示す平面図である。

【図 7 3】

(A), (B) は、本発明の一実施例に係る長波長面発光レーザダイオードおよび集積型光通信装置を示す平面図と光導波路の断面図である。

【図 7 4】

(A), (B) は、本発明の一実施例に係る長波長面発光レーザダイオードチップの構成を示す図である。

【図 7 5】

図 7 4 に示した半導体レーザダイオードチップの動作を説明する図である。

【図 7 6】

(A), (B) は、本発明の一実施例に係る長波長面発光レーザダイオードチップの構成を示す図である。

【図 7 7】

図 7 6 に示したレーザダイオードチップの動作を説明する図である。

【図 7 8】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオード素子を用いた通信システムの光送信部を示す図である。

【図 7 9】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオード素子を用いた通信システムの光送信部を示す図である。

【図 8 0】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオード素子に使われる光結合

装置を示す断面図である。

【図 8 1】

図 8 0 の光結合装置を示す断面図である。

【図 8 2】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオード素子と光結合する光結合装置を示す断面図である。

【図 8 3】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオード素子と光結合する光結合装置を示す断面図である。

【図 8 4】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオード素子で使われる光ファイバ固定装置を示す断面図である。

【図 8 5】

光結合装置の断面構造を示す図である。

【図 8 6】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオード素子を用いた光通信システムの面発光レーザダイオードとモニタ用受光素子の位置関係を示す図である。

【図 8 7】

本発明の一実施例による面発光レーザダイオードの出力を制御する制御回路の構成を示すブロック図である。

【図 8 8】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオード素子を用いた光通信システムの構成示す図である。

【図 8 9】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオード素子を用いた光通信システムの構成を示す模式図である。

【図 9 0】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオード素子を用いた光通信シ

ステムの面発光レーザダイオードとモニタ用受光素子および反射面を示す図である。

【図 9 1】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオード、光ファイバ、光コネクタからなる光通信システムの構成を示す図である。

【図 9 2】

本発明の一実施例による光ファイバ、フェルール、割リスリーブの位置関係を示す図である。

【図 9 3】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオードの光放射角とビーム径の関係を示す図である。

【図 9 4】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオードのビームの広がりとうファイバのコア径、光路長の関係を示す図である。

【図 9 5】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオード素子のビーム径と光路長の関係を示す計算例を示す図である。

【図 9 6】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオード素子を用いた光通信システムのレーザダイオードと光ファイバの結合部の構成を示す図である。

【図 9 7】

(A)、(B)は、本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオード素子を用いた光通信システムのレーザダイオードと光導波路の結合部の構成を示す図である。

【図 9 8】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオード素子を用いた光通信システムのレーザダイオードと光導波路の結合部の構成を示す図である。

【図 9 9】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオード素子と光ファイバを用

いて直接カップリングさせた光通信システムの構成を示す図である。

【図 1 0 0】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオード素子を用いた光通信システムの構成を示す図である。

【図 1 0 1】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオード素子を用いた光通信システムの構成図である。

【図 1 0 2】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオード素子を用いた光通信システムの構成を示す図である。

【図 1 0 3】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオード素子を用いた光通信システムの構成を示す図である。

【図 1 0 4】

(A), (B) は、本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオード素子を実装した例を示す図である。

【図 1 0 5】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオード素子を用いた光通信システムの構成を示す図である。

【図 1 0 6】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオード素子を用いた光通信システムで使われる制御装置の構成を示すブロック図である。

【図 1 0 7】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオード素子を用いた光通信システムの構成示す図である。

【図 1 0 8】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオード素子を用いた光通信システムの構成を示す図である。

【図 1 0 9】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオード素子を用いた光通信システムの構成を示す図である。

【図 1 1 0】

(A), (B) は、本発明の一実施例によるレーザダイオード素子の出射角を示す図である。

【図 1 1 1】

(A) ~ (C) は、本発明の一実施例による光ファイバ束を示す図である。

【図 1 1 2】

本発明の一実施例による光ファイバ束を示す図である。

【図 1 1 3】

(A), (B) は、本発明の一実施例によるマルチモード伝送用光ファイバの断面を示す図である。

【図 1 1 4】

本発明の一実施例によるシングルモード伝送用光ファイバの断面を示す図である。

【図 1 1 5】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオード素子の温度別の電流－光出力特性を示す図である。

【図 1 1 6】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオード素子の電流制御を説明する図である。

【図 1 1 7】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオード素子の電流制御に使われる構成を示す図である。

【図 1 1 8】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオード素子を搭載した光通信機器内を示す図である。

【図 1 1 9】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオードモジュールの構成を示

す図である。

【図 1 2 0】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオード素子の構成を示す図である。

【図 1 2 1】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオードモジュールの構成を示す図である。

【図 1 2 2】

本発明に使用するレーザチップの一例を示す図である。

【図 1 2 3】

本発明に使用するレーザチップの別の例を示す図である。

【図 1 2 4】

本発明のシステムの一例を示す図である。

【図 1 2 5】

本発明のシステムを説明するためのレーザチップの構成を示す図である。

【図 1 2 6】

本発明のシステムの制御系の一例を示す図である。

【図 1 2 7】

本発明のシステムの制御系の別の例を示す図である。

【図 1 2 8】

本発明のシステムを説明する図である。

【図 1 2 9】

本発明のシステムを説明する別の図である。

【図 1 3 0】

本発明の一実施例に係る長波長面発光レーザダイオード素子を使用したレーザアレイモジュールの製造プロセスを示す図である。

【図 1 3 1】

図 1 3 0 に記す製造プロセスにおける製品品質工程を詳述した図である。

【符号の説明】

- 1 1, 2 0 1 基板
- 1 2 下部半導体分布ブラッグ反射鏡
- 1 3, 1 7 非発光再結合防止層
- 1 4, 1 6 スペーサ層
- 1 5 活性層
 - 1 5 F 高抵抗領域
 - 1 5 R 活性領域
 - 1 5 a 量子井戸活性層
 - 1 5 b バリア層
- 1 8 上部半導体分布ブラッグ反射鏡
 - 1 8 a 低屈折率層
 - 1 8 b 高屈折率層
 - 1 8 c ヘテロスパイク緩衝層
 - 1 8₁ AlAs 層
 - 1 8₂ Al_xO_y 電流狭窄層
 - 1 8₃ ポリイミド領域
- 1 9 コンタクト層
- 2 0 上部電極
 - 2 0 A 光出射開口部
- 2 1 下部電極
- 3 1 GaAs 基板
- 3 2 レーザダイオードチップ
 - 3 2 A レーザダイオード素子 (発光部)
 - 3 2 D レーザダイオード駆動回路
 - 3 2 B, 3 4 B カバー
 - 3 2 X マーカ
- 3 3 光ファイバ
- 3 4 フォトダイオードチップ (受光素子)
 - 3 4 A フォトディテクタ

3 5 A, 3 5 B, 3 5 C, 3 5 D, 3 5 E 障害物

4 1 壁

4 1 A 壁内部

4 2 部屋

5 1 セラミック基板

5 2, 5 3 光導波路

5 4, 5 5 光ファイバ

5 6, 5 7 光接続モジュール

5 8 シリコン基板

6 1 レーザダイオードチップホルダ

6 1 A, 6 2 B フランジ面

6 2 光ファイバホルダ

6 4, 6 5 光ファイバ群ホルダ

7 1 モジュールパッケージ

7 1 A コネクタ

7 1 a, 7 1 b コネクタ接合部

7 2, 7 3, 9 5 光ファイバ

7 2 F, 7 3 F フェルール

8 1 通信制御部

8 2 レーザダイオード駆動回路

9 1 治具

9 6 樹脂被覆

1 0 1, 1 0 1 A, 1 0 1 B, 1 0 1 - A, 1 0 1 - B 光ファイバ

1 0 1 C 中継器

1 0 1 F 光ファイバ保持フェルール

1 0 1 X 着色光ファイバ

1 0 1 a コア

1 0 1 b クラッド

1 0 2 A, 1 0 1 B 光送受信部

1 0 2 C 端末機器

1 1 0 局側装置

1 1 1, 1 1 2, 1 1 7 a, 1 1 7 b, 1 1 7 c 光ファイバ

1 1 1 R 光中継器

1 1 5 ネットワークターミネータ

1 1 6 光通信システム

1 2 0 レーザダイオードチップ

1 2 1, 1 2 2 上部電極

1 2 3 下部電極

1 2 5 光ファイバ

1 2 5 A コア

1 2 5 B クラッド

1 3 1 実装基板

1 3 2 放熱部材

1 3 3 金属パッケージ

1 3 4 光ファイバ

1 3 5 フェルール

1 3 6 セラミック基板

1 3 6 A 電極

1 3 7, 1 3 8 熱伝導層

1 4 1 レーザダイオードモジュール

1 4 2 光ファイバ

1 4 2 A フェルール

1 4 2 P 受光素子

1 4 2 Q 支持部分

1 4 3, 1 4 3 6 アダプタハウジング

1 4 3 1, 1 4 7 6 割スリーブ

1 4 3 2, 1 4 3 2 A, 1 4 7 1 ばね

1 4 3 3, 1 4 7 2 カラー

1 4 3 5 結合子
1 4 4 ブッシュ
1 4 5, 1 4 7 5 ハウジング
1 4 6 ベース
1 4 7 光ファイバ固定装置
1 4 7 4 球
1 4 7 5
1 5 1 コネクタ基板
1 5 1 A コネクタガイド
1 5 1 R ミラー
1 6 1 レーザダイオード駆動回路
1 6 2 制御回路
1 7 0 光通信システム
1 7 1 光コネクタ
1 7 2 割スリーブ
1 8 0 光ファイバ
1 8 1 コア
1 8 2 クラッド
1 9 1 ホールアレイ
1 9 1 X ガイド
1 9 2 光ファイバ
2 0 2, 2 0 5 クラッド層
2 0 3 A, 2 0 3 B 中間層
2 0 4 活性層
3 0 1 ミラー
3 0 2 光導波路
3 0 2 A, 3 0 2 C クラッド
3 0 2 B コア
3 1 0 実装基板

- 3 1 1 パッケージ
- 3 1 1 A ガイド
- 3 1 2 光ファイバガイド
- 3 1 2 A ガイドピン
- 3 1 3 光ファイバ
- 3 5 1 B レーザビーム
- 3 5 2 光ファイバ
- 3 5 3, 3 5 3 A, 3 5 3 B レンズ
- 4 0 1 サブマウント
- 4 0 2 高周波伝送線路
- 4 0 3 ボンディングワイヤ
- 4 1 0 光ファイバ
- 4 1 1 ハーフミラー
- 4 1 2 受光素子
- 4 1 3 受光処理部
- 4 1 4 通信制御部
- 4 1 4 A 補正表
- 4 1 5 発光制御部
- 4 1 6 定電流電源
- 4 2 0 光通信機筐体
- 4 2 1 光ファイバ
- 4 2 2 レーザダイオードモジュール
- 4 2 3 A 光回路基板
- 4 2 3 a 電子部品
- 4 2 3 B, 4 2 3 C 電子回路基板
- 4 2 4 送風装置
- 4 3 1 レーザダイオードモジュールパッケージ
- 4 3 1 A 冷却フィン
- 5 4 1 電子写真複写機

5 4 2 給紙トレイ

5 4 3 回収トレイ

5 4 6 感光ドラム

5 4 7 筐体

5 4 7 a 筐体カバー

5 4 8 シート供給機構

5 5 4 a

5 5 0 電子回路

5 5 1 インクジェット記録装置

5 5 4 筐体

5 5 4 a 上部筐体

5 5 4 b 下部筐体

5 5 5 給紙機構

5 5 6 インクジェット記録ヘッド

5 5 6 A キャリッジ

5 5 7 記録部

5 5 8 プラテン

F 1, F 2, F 1 2, F G 1, F G 2, F G 3, F R 1, F R 2, F R 3, f g

1 光ファイバ

F G A, F G B 伝送系

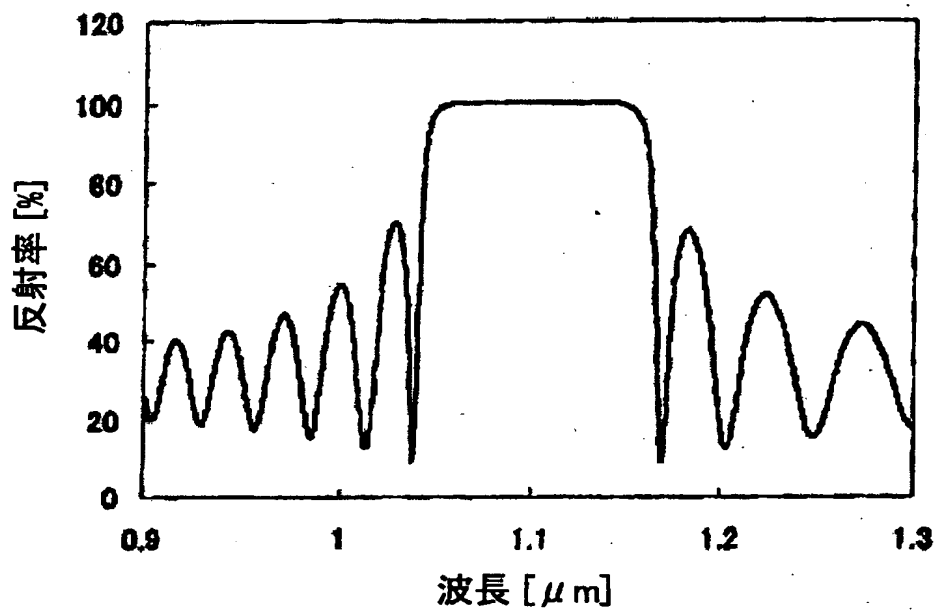
M F G 1, M F G 2, M F G 3 光ファイバ群

M G 1, M G 2, M G 3, M G 4, M R 1, M R 2, M R 3, M R 4 光接続モ
ジュール

R 反射部

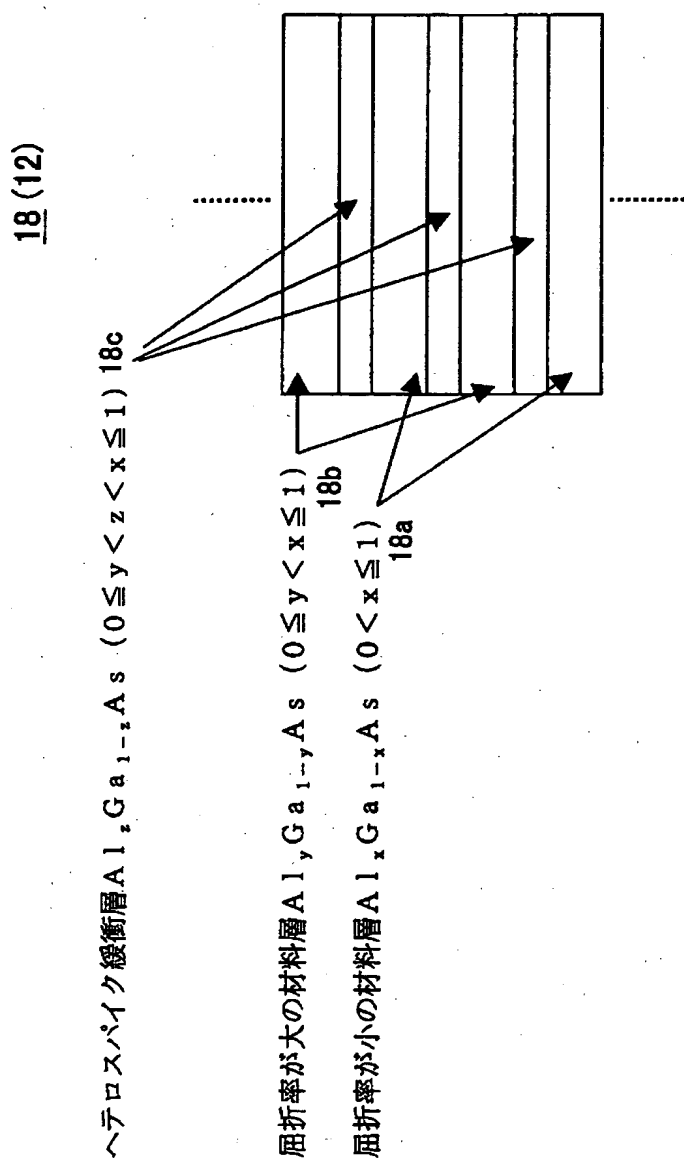
【図 2】

図1のレーザダイオードで使われる分布ブラッグ反射鏡の
反射スペクトルを示す図



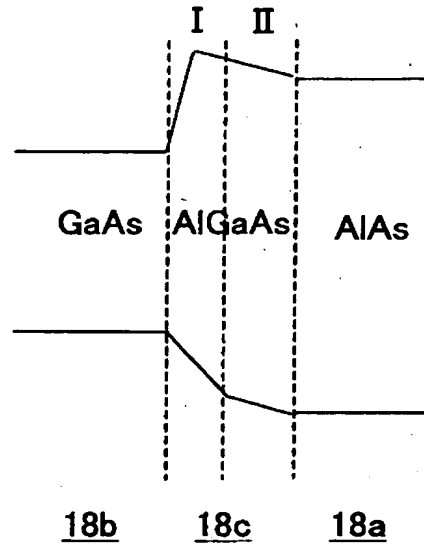
【図3】

本発明の一実施例に係る長波長面発光レーザダイオードの
半導体分布ブラッグ反射鏡の構成を示す断面図



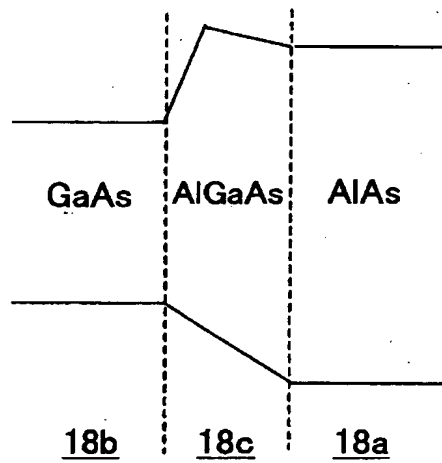
【図 4】

本発明に適用される半導体分布ブラッグ反射鏡の
ヘテロスパイク緩衝層の組成傾斜率をAlAs層よりも
GaAs層の近くで大きくした例を示す図



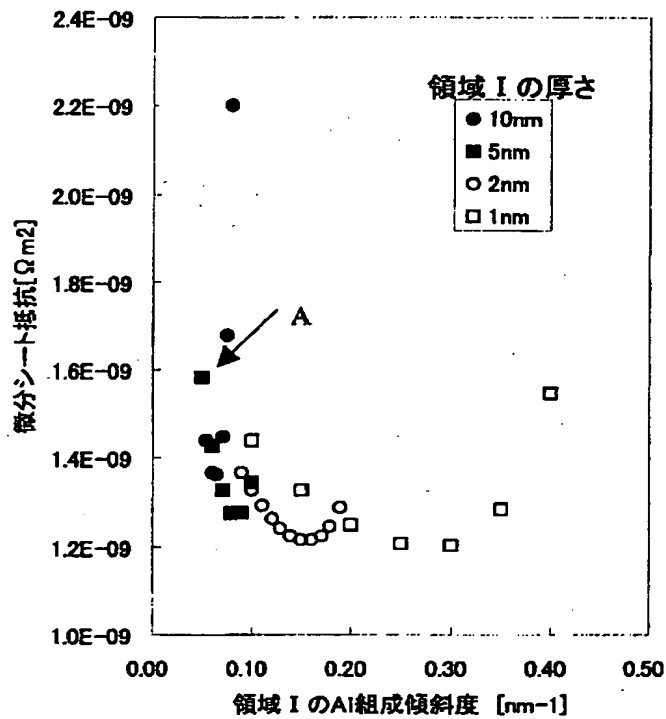
【図 5】

ヘテロスパイク緩衝層のAl組成を線形に
変化させた例を示す図



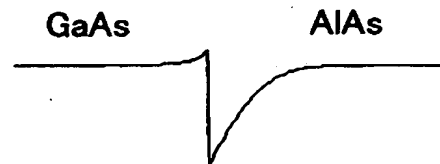
【図 6】

図3の分布ブラッグ反射鏡の微分シート抵抗を見積った結果を示す図



【図 7】

図3の分布ブラッグ反射鏡をAlAsとGaAsの積層により形成した場合の、ヘテロ界面近傍における熱平衡状態でのバンド構造を示す図



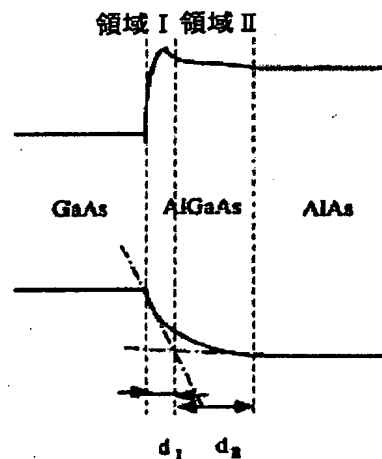
【図 8】

図4のヘテロスパイク緩衝層の熱平衡状態における
バンド構造を示す図



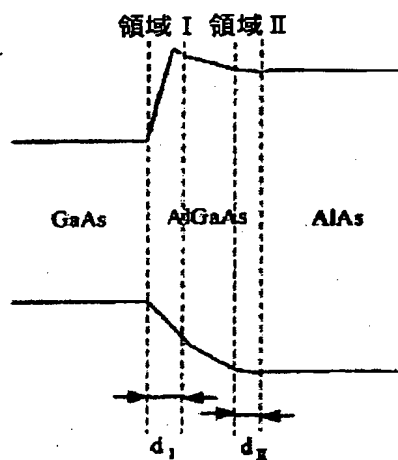
【図 9】

ヘテロスパイク緩衝層のバンド構造の一例を示す図



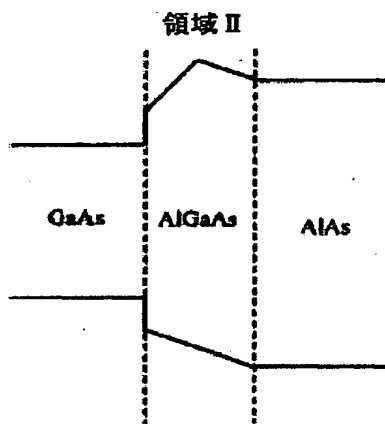
【図 1 0】

ヘテロスパイク緩衝層のバンド構造の一例を示す図



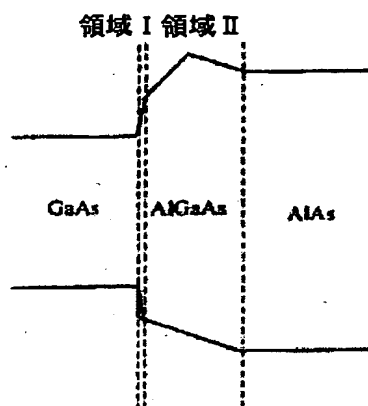
【図 1 1】

ヘテロスパイク緩衝層のバンド構造の一例を示す図



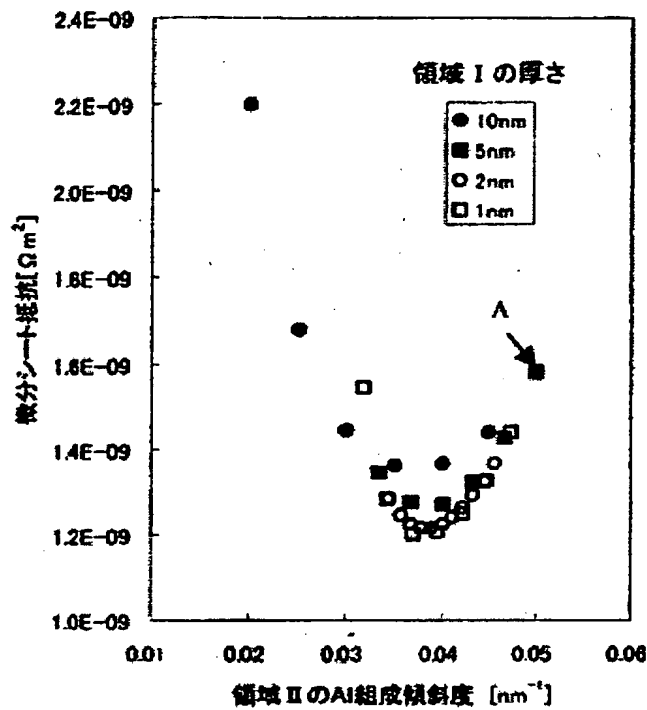
【図 1 2】

ヘテロスパイク緩衝層のバンド構造の一例を示す図



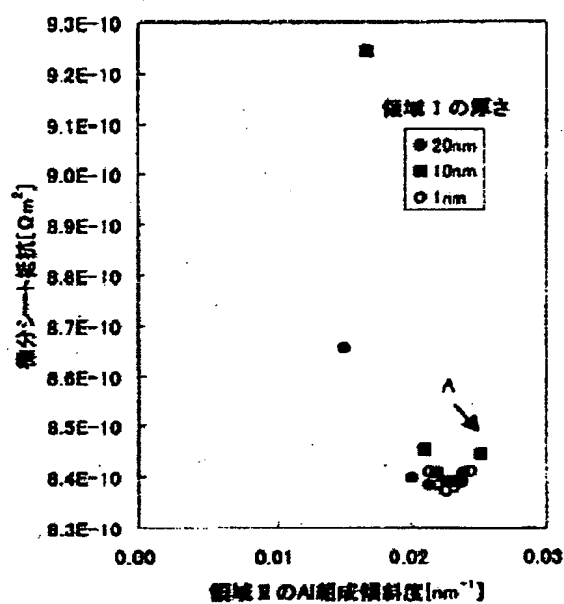
【図 13】

分布ブラッグ反射鏡の微分シート抵抗とヘテロスパイク
緩衝層中におけるAl組成プロファイルの関係を示す図



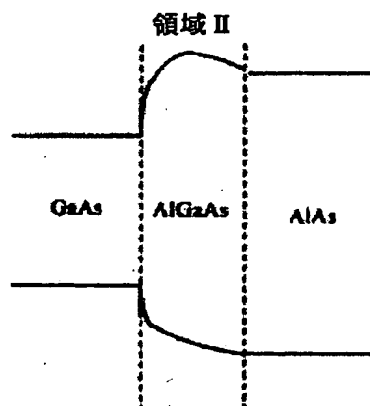
【図14】

図3の分布ブラッグ反射鏡の微分シート抵抗とヘテロスパイク緩衝層中におけるAl組成プロファイルの関係を示す別の図



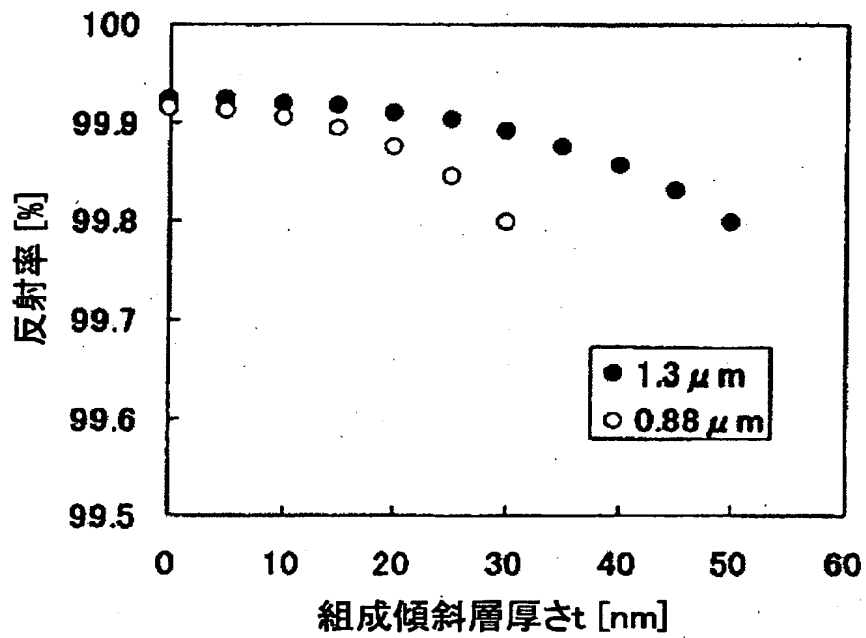
【図15】

ヘテロスパイク緩衝層の別のバンド構造を示す図



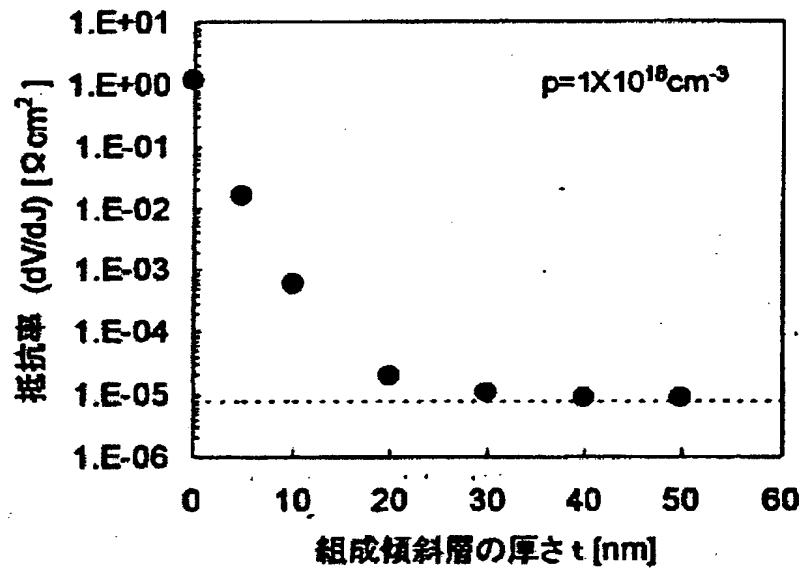
【図 1 6】

分布ブラッグ反射鏡の反射率とヘテロスパイク緩衝層の膜厚との関係を示す図



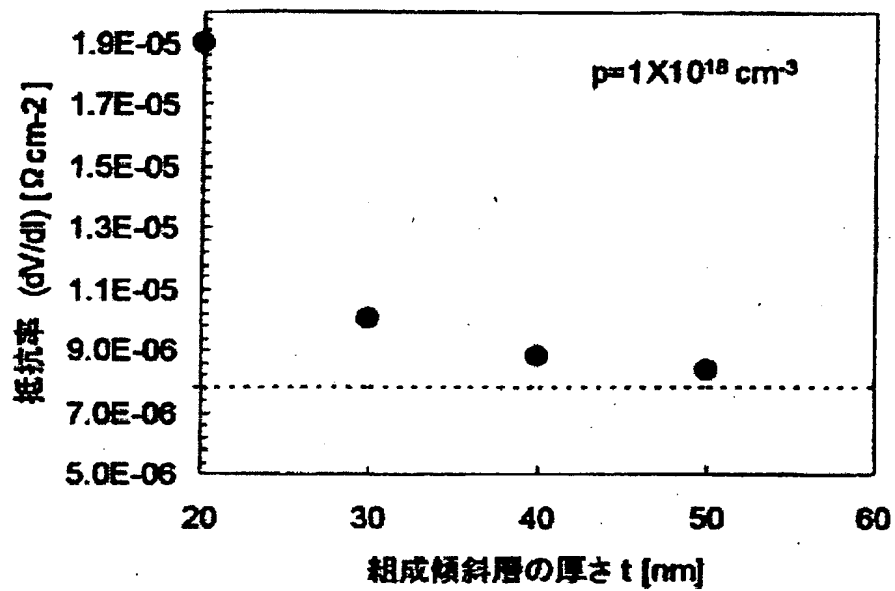
【図 1 7】

分布ブラッグ反射鏡の抵抗率とヘテロスパイク緩衝層の
膜厚との関係を示す図



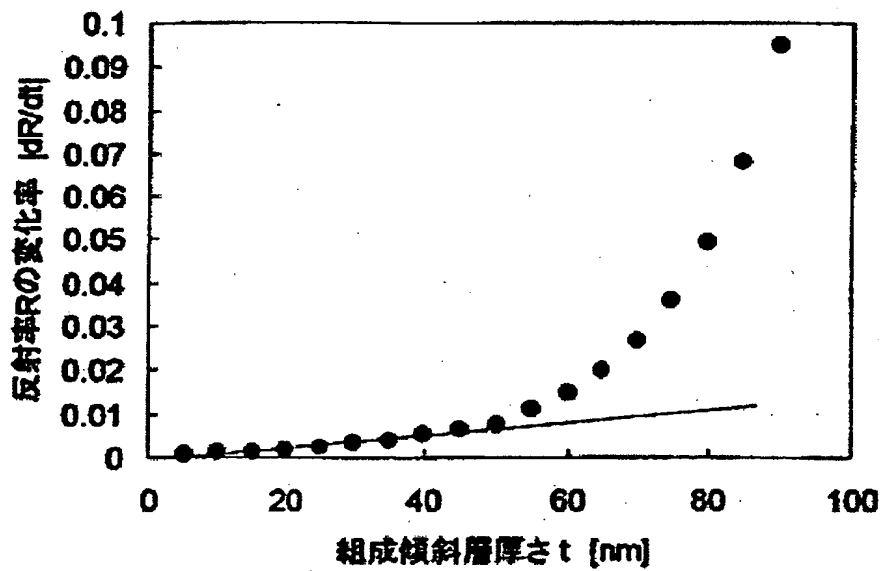
【図 1 8】

分布ブラッグ反射鏡の抵抗率とヘテロスパイク緩衝層の膜厚との関係を示す別の図



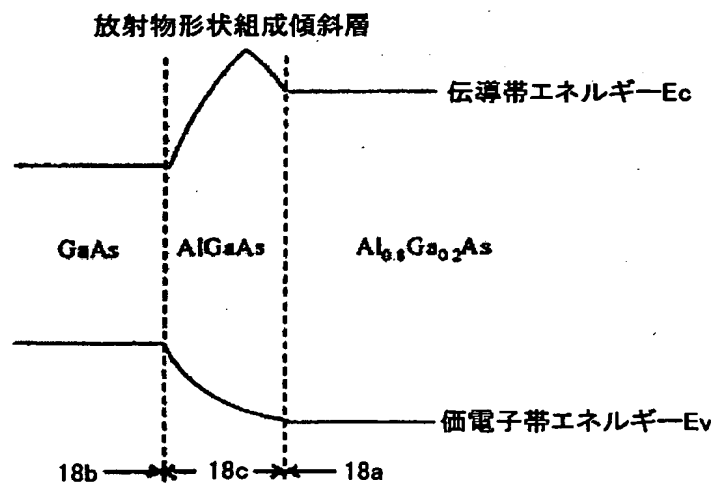
【図19】

分布ブラッグ反射鏡の抵抗率とヘテロスパイク緩衝層の膜厚との関係を示すさらに別の図



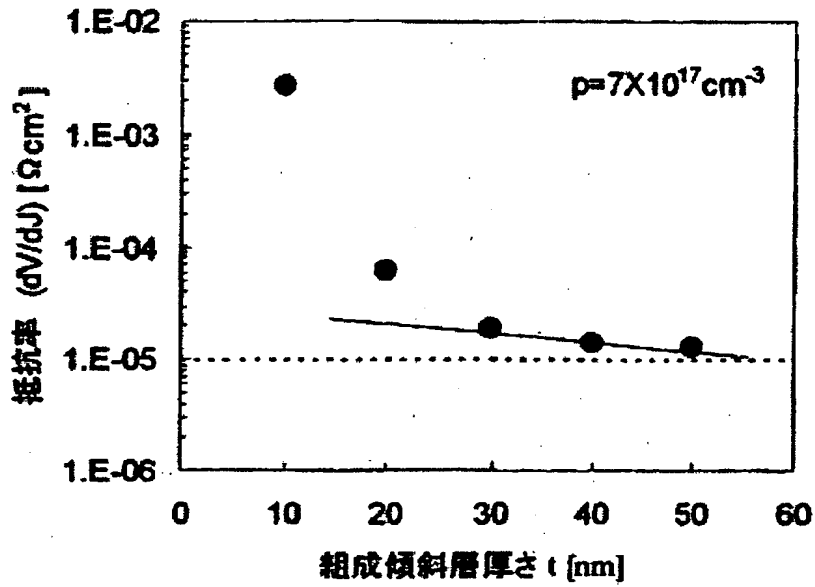
【図20】

ヘテロスパイク緩衝層のバンド構造のさらに別の例を示す図



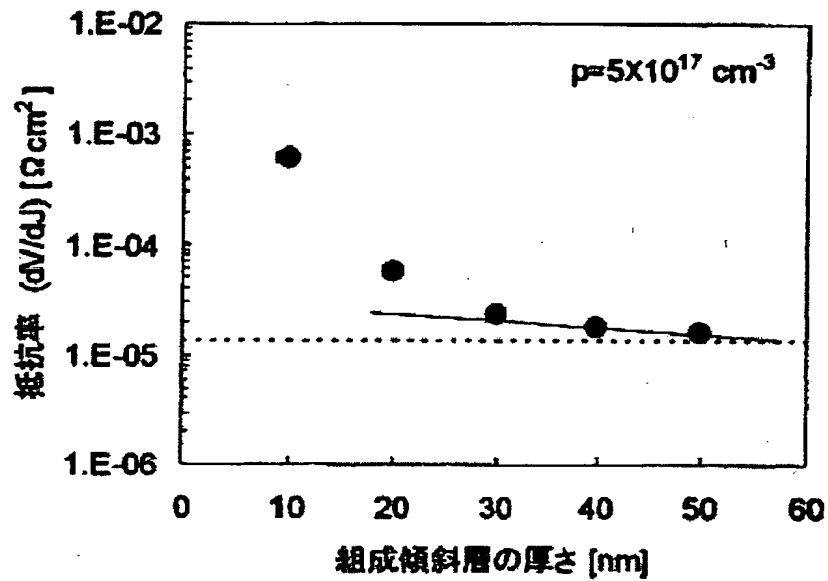
【図 21】

図20のヘテロスパイク緩衝層を有する分布ブラッグ
反射鏡について求めた抵抗率とヘテロスパイク
緩衝層の膜厚との関係を示す図



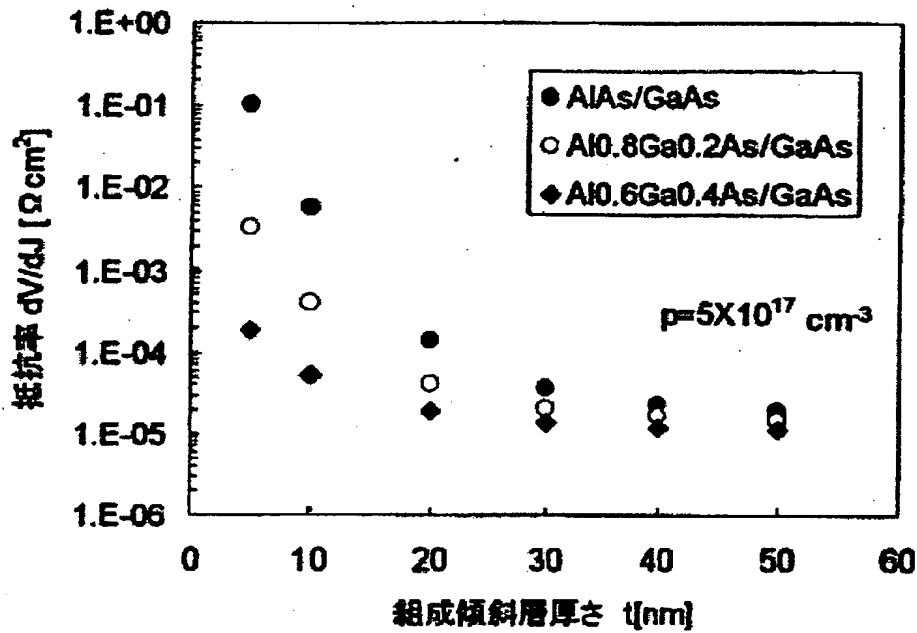
【図 2 2】

図20のヘテロスパイク緩衝層を有する分布ブラッグ
反射鏡について求めた抵抗率とヘテロスパイク
緩衝層の膜厚との関係を示す別の図



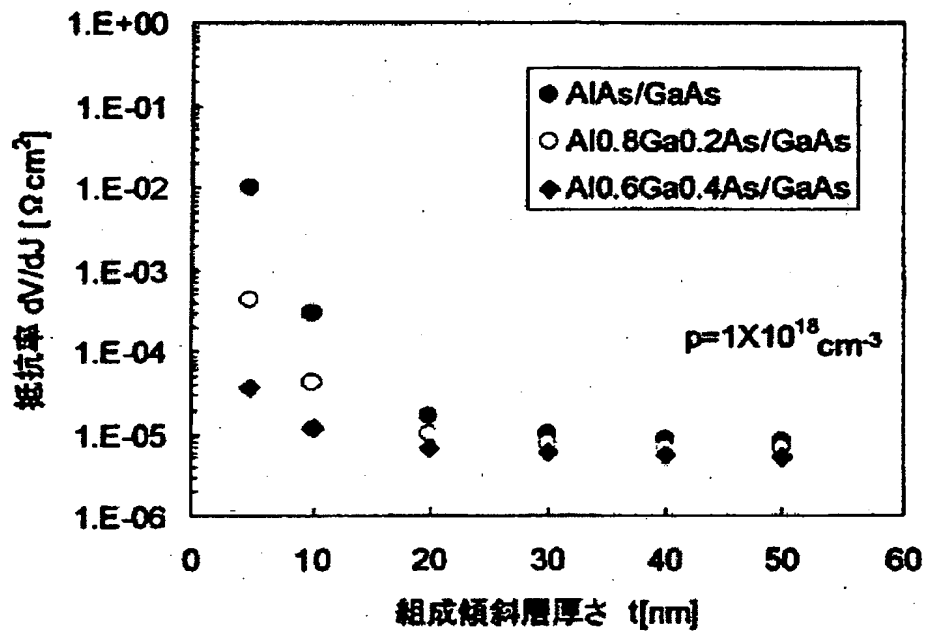
【図 2 3】

様々な分布ブラッグ反射鏡について求めた抵抗率と
ヘテロスパイク緩衝層の膜厚との関係を示す図



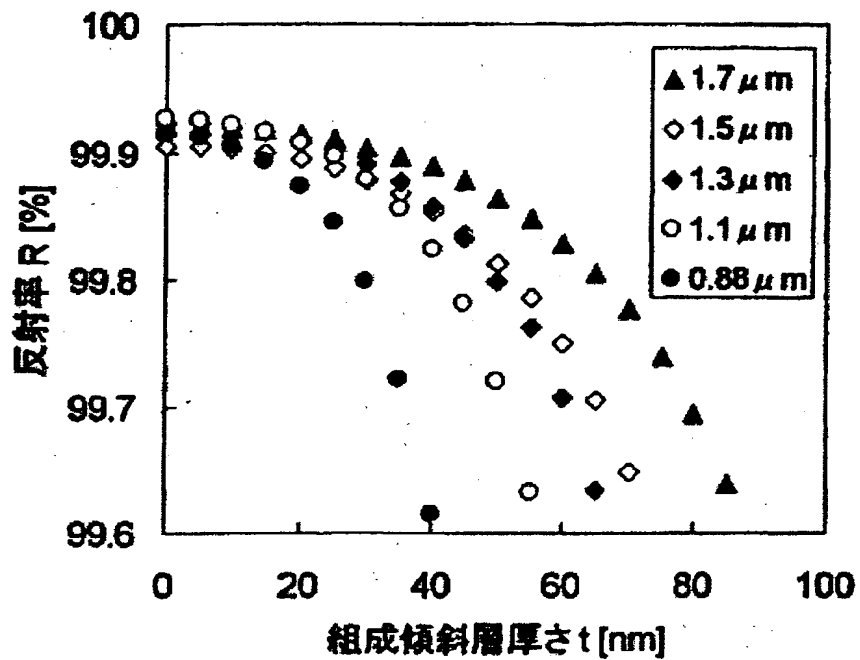
【図 2 4】

様々な分布ブラッグ反射鏡について求めた抵抗率と
ヘテロスパイク緩衝層の膜厚との関係を示す別の図



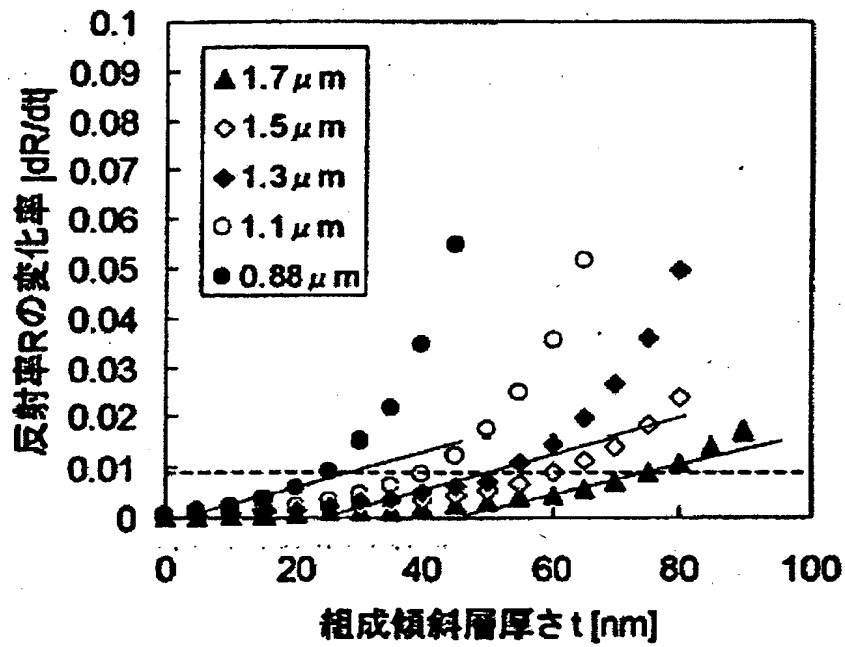
【図 2 5】

様々な分布ブラッグ反射鏡について求めた反射率と
ヘテロスパイク緩衝層の膜厚との関係を示す図



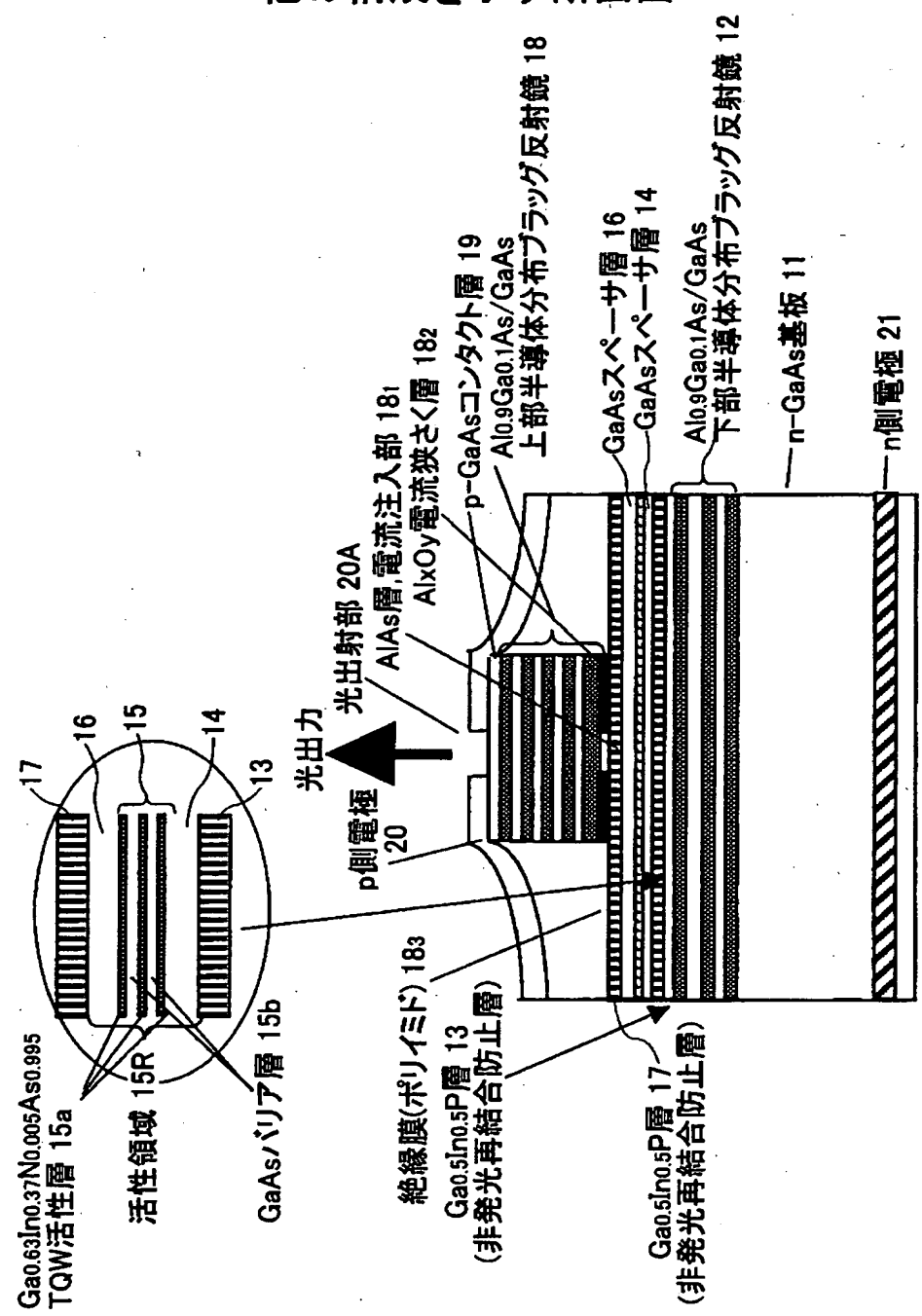
【図 26】

様々な分布ブラッグ反射鏡について求めた反射率と
ヘテロスパイク緩衝層の膜厚との関係を示す別の図



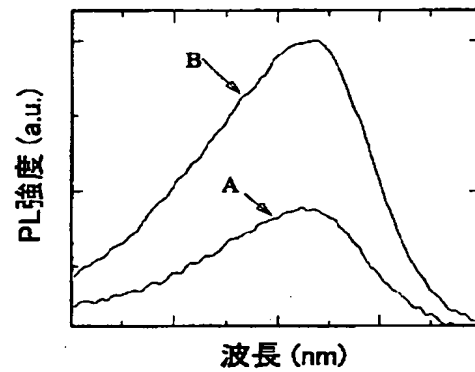
【図 27】

本発明の一実施例に係る長波長面発光レーザダイオードの他の構成を示す断面図



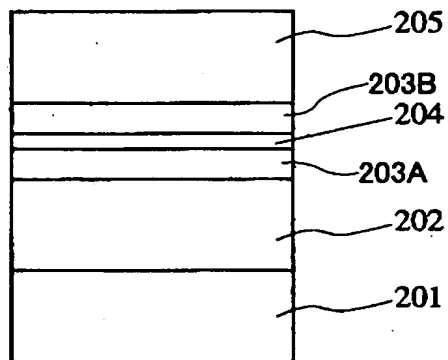
【図 2 8】

本発明の一実施例に係るGaInAs/GaAs₂重量子井戸構造
からなる活性層の室温フォトルミネッセンススペクトルを示す図



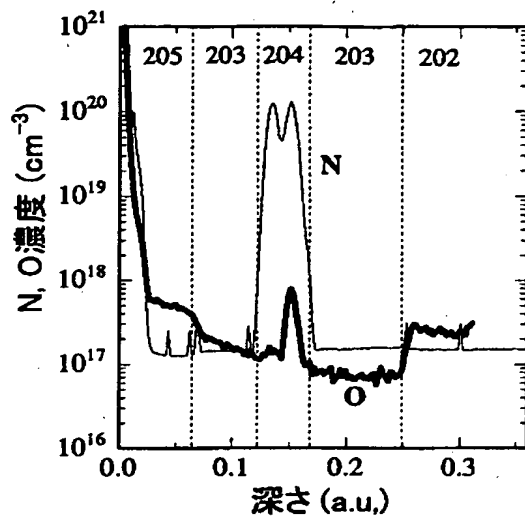
【図 2 9】

試料構造を示す図



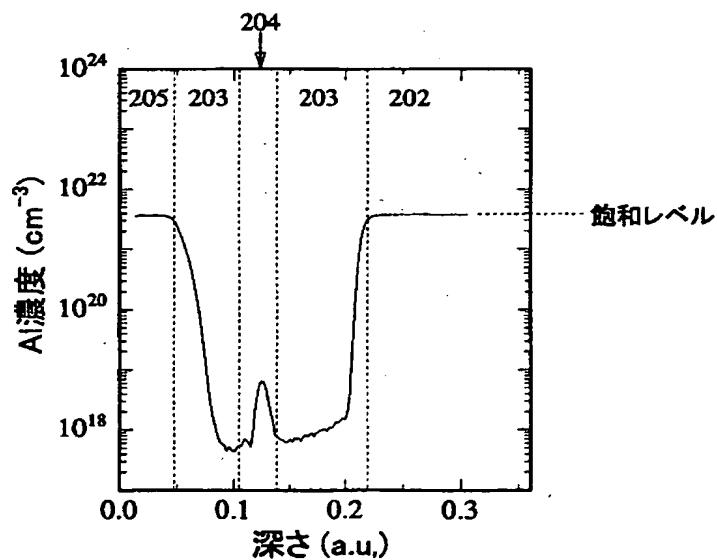
【図 3 0】

窒素と酸素濃度の深さ方向分布を示す図



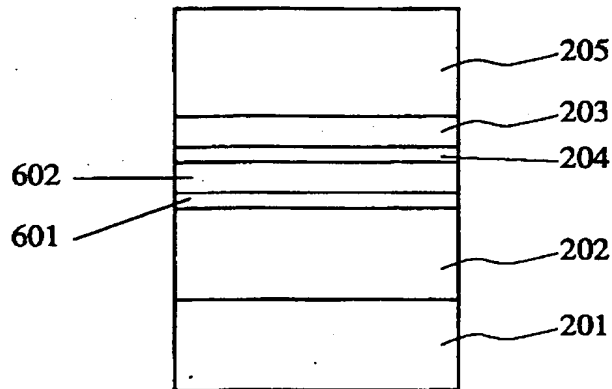
【図 3 1】

Al濃度の深さ方向分布を示す図



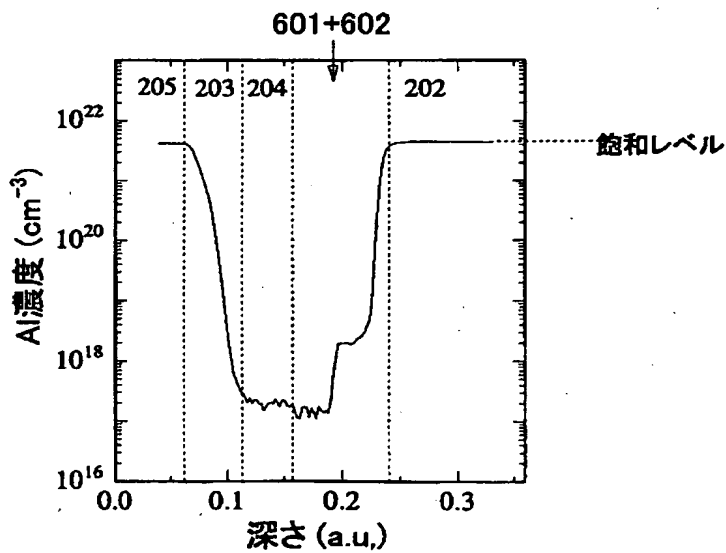
【図 3 2】

キャリアガスパージで成長中断する場合の構造を示す図



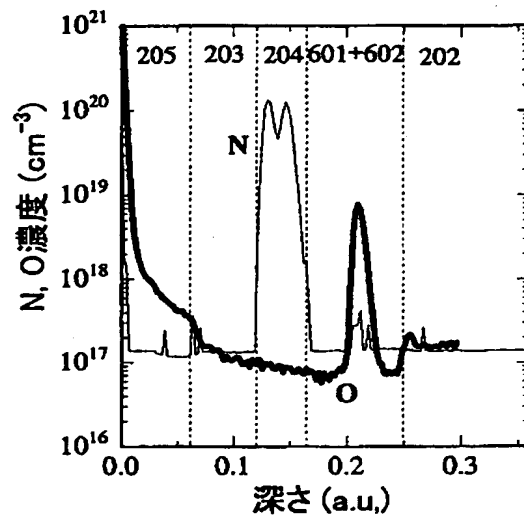
【図 3 3】

成長中断工程を設けて水素でパージした場合の
Al濃度の深さ方向分布を示す図



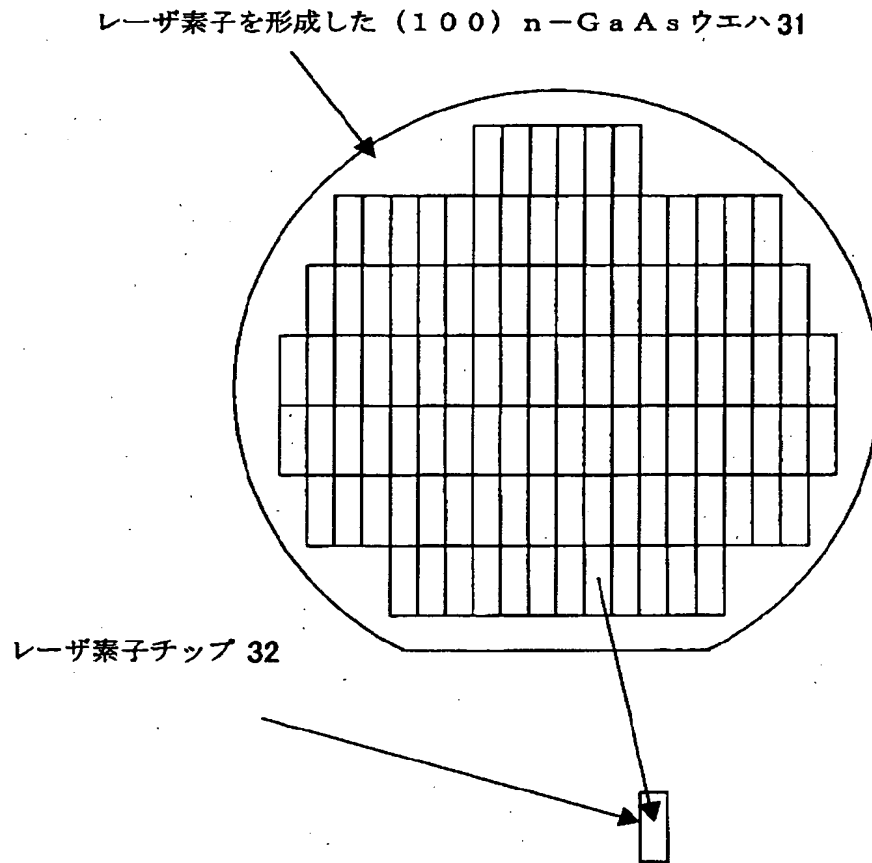
【図 3 4】

成長中断工程を設けて水素でパージした場合の窒素と酸素濃度の深さ方向分布を示す図



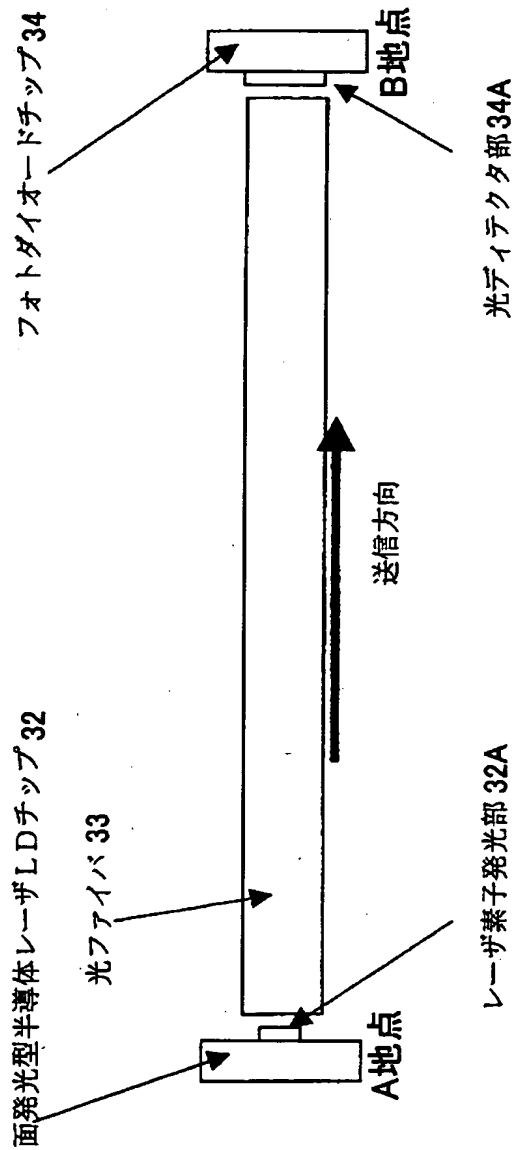
【図 3 5】

本発明の一実施例に係る長波長面発光レーザダイオード素子を形成したウエハ基板ならびにレーザ素子チップを示す平面図



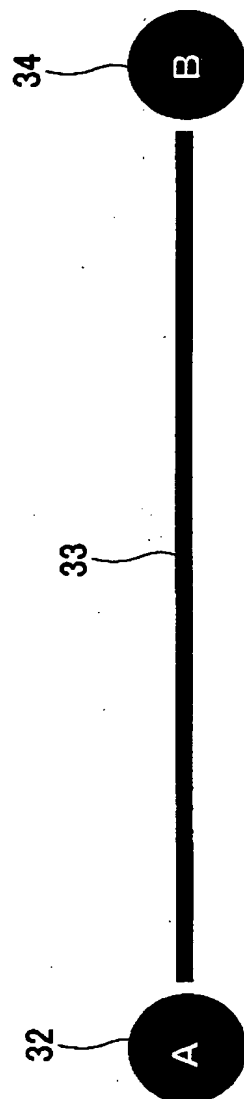
【図 3 6】

発光光源と受光ユニットを伝送路で直線的に結んだ
光送受信システムの例を示す図



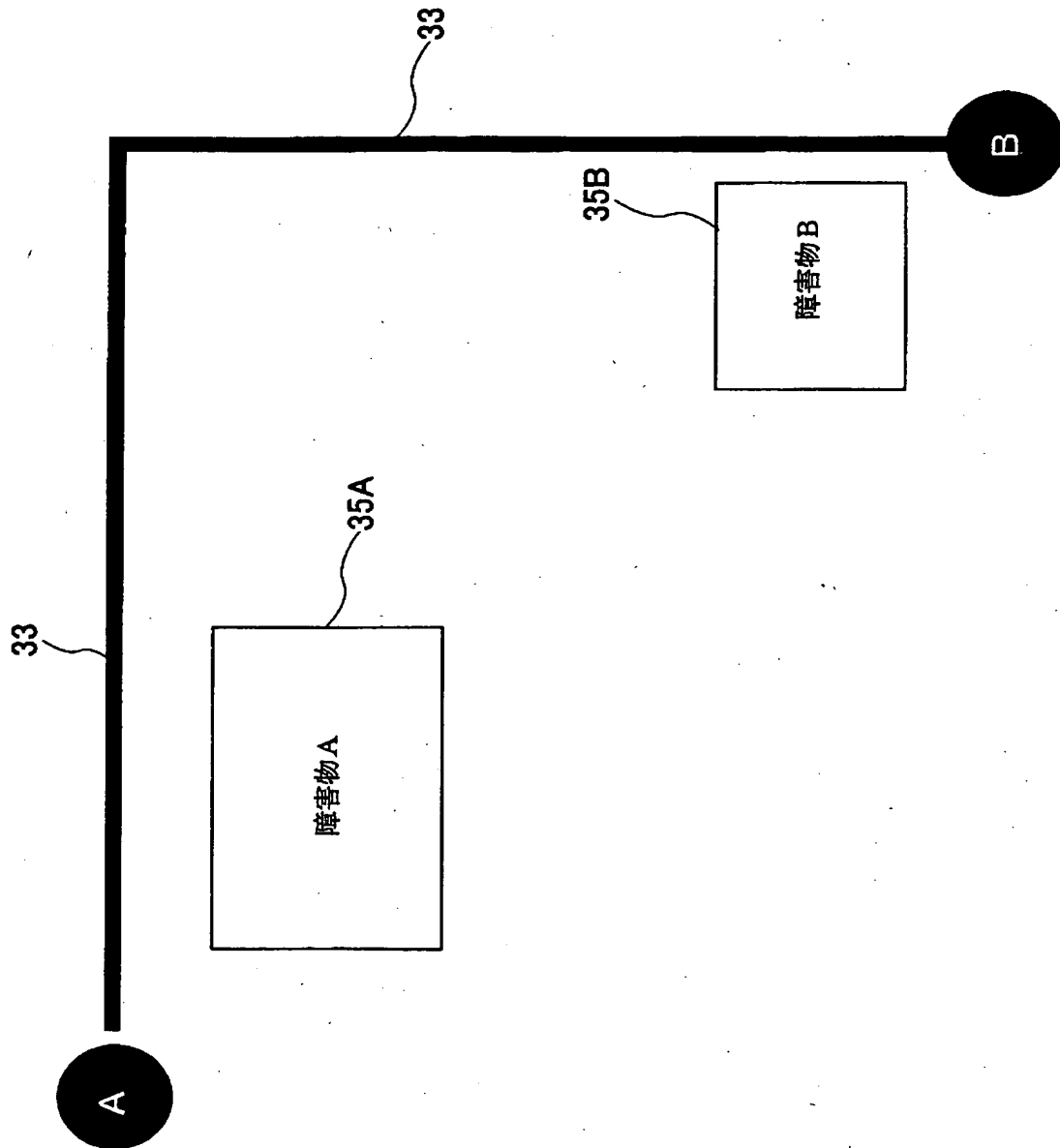
【図 3 7】

上記光送受信システムの概要を示す図



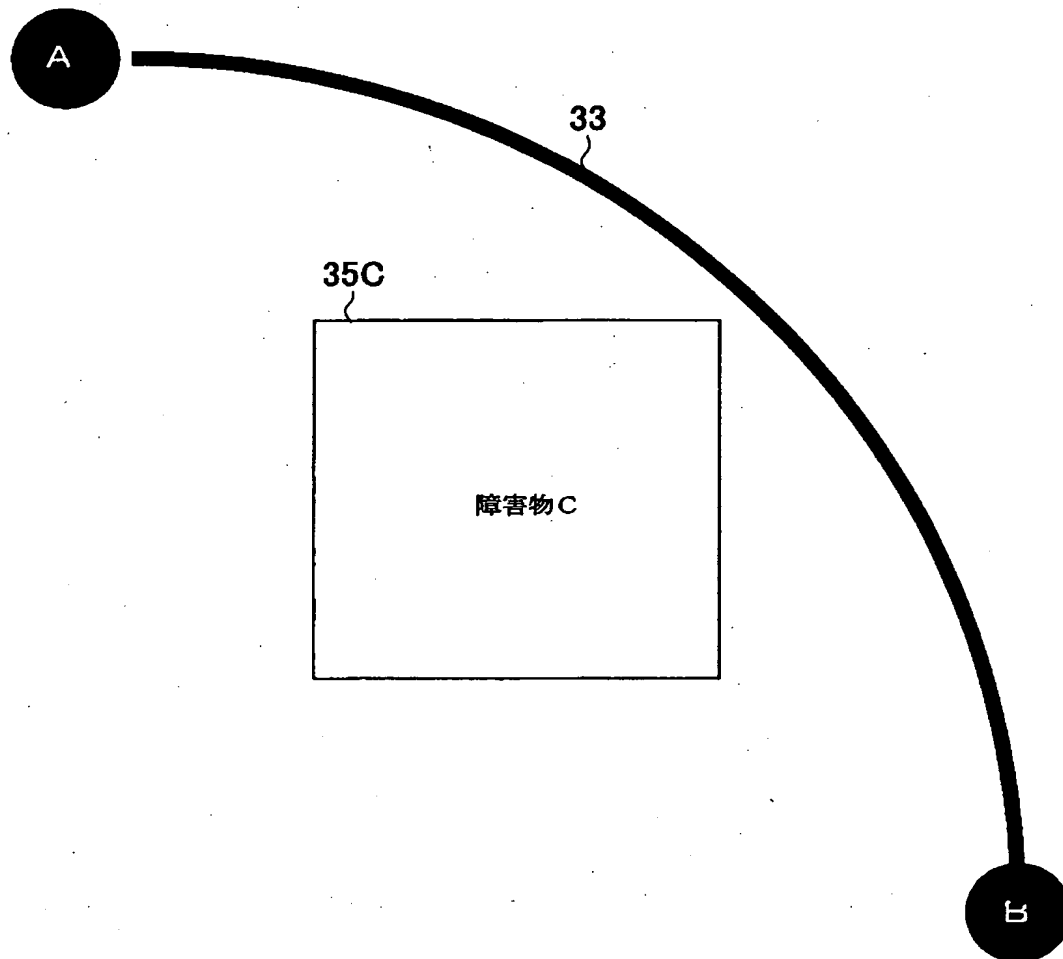
【図 3 8】

障害物をさけるために発光光源と受光ユニットを結ぶ
伝送路を直角に曲げた例を示す図



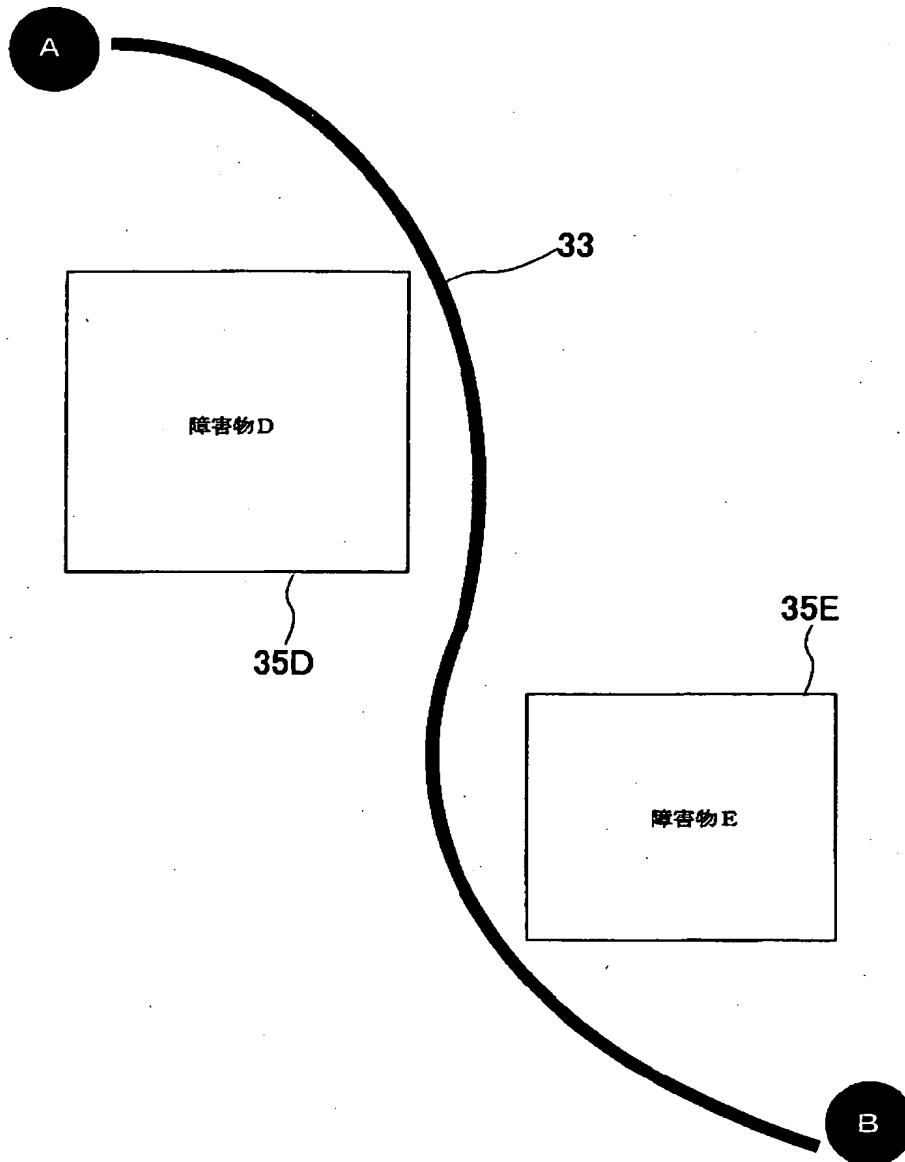
【図 3 9】

本発明の光送受信システムの一例であり、障害物をさけて
発光光源と受光ユニットを伝送路を曲げながら
結ぶようにした例を示す図



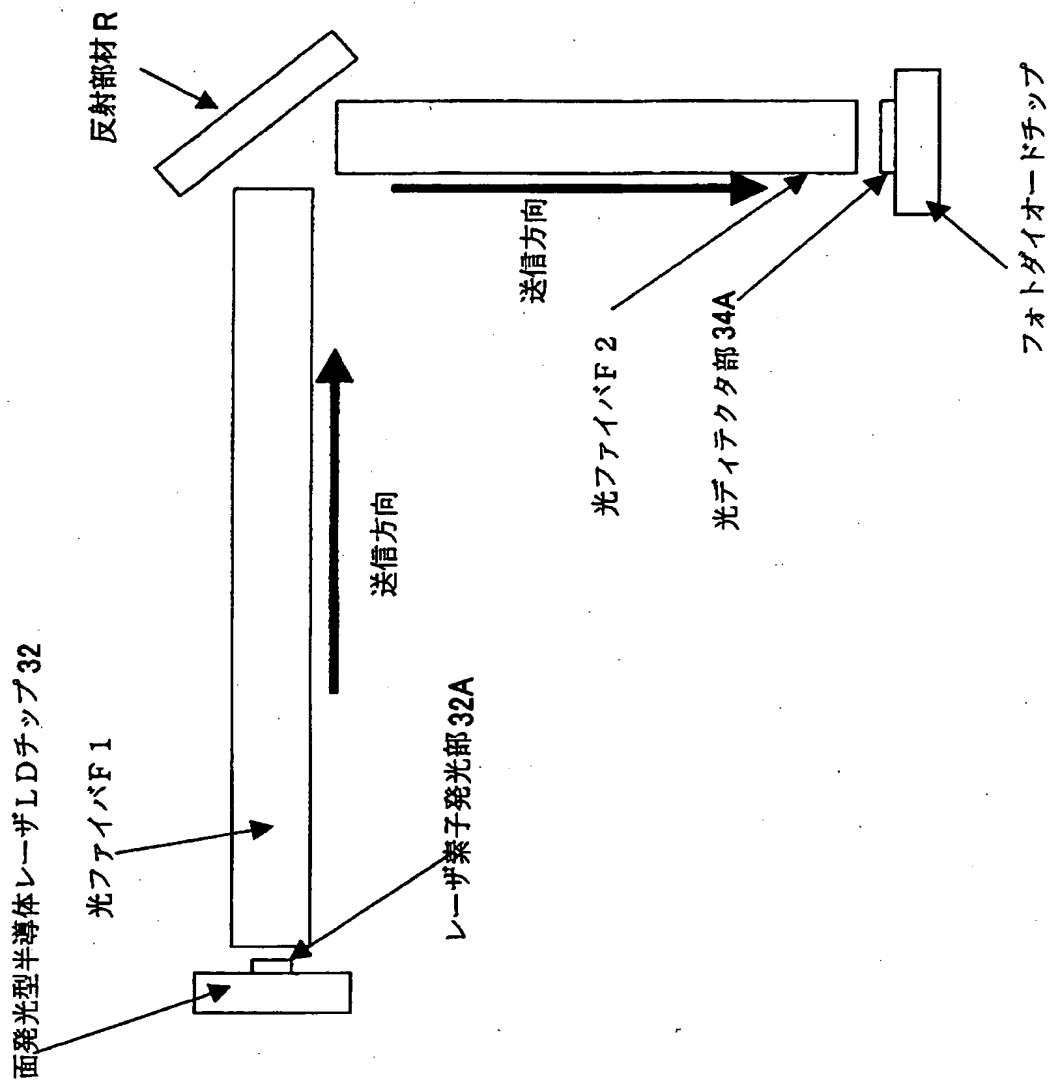
【図 4 0】

本発明の他の光送受信システムの例であり、障害物をさけて
発光光源と受光ユニットを伝送路を曲げながら
結ぶようにした例を示す図



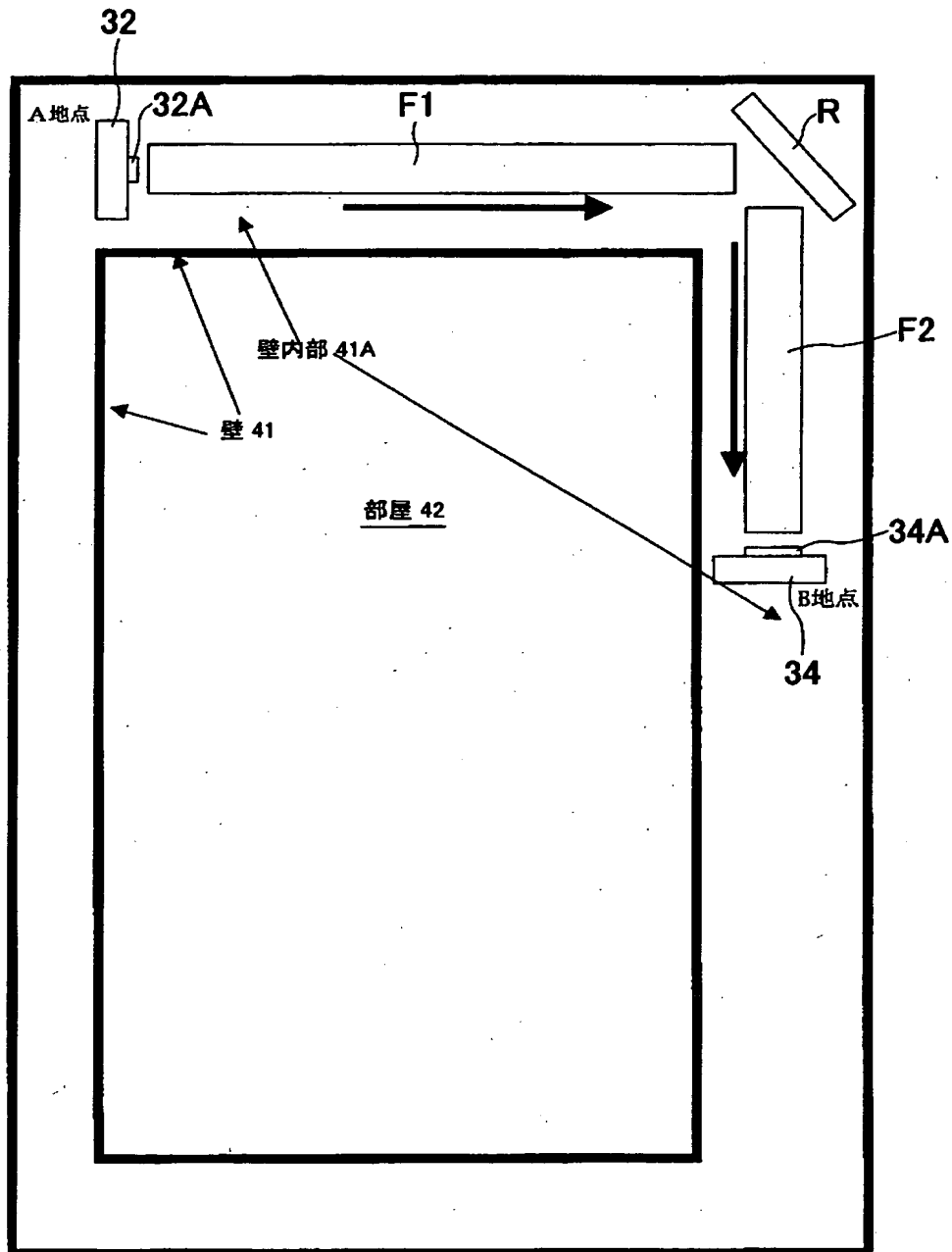
【図 4 1】

本発明の長波長面発光レーザダイオード素子を光源とした
光送受信システムの1例を示す図



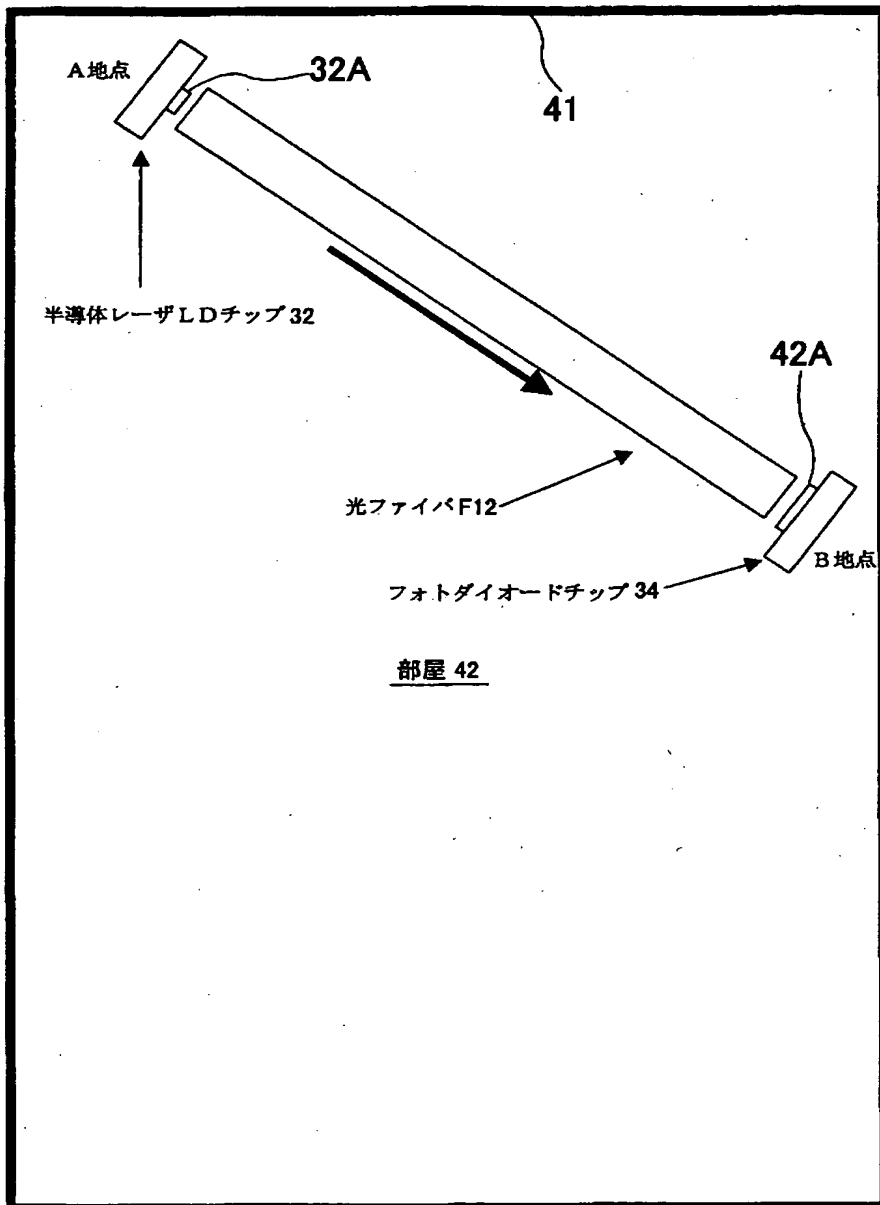
【図 4 2】

本発明の光送受信システムを構内に配置した
部屋の例を示す平面図



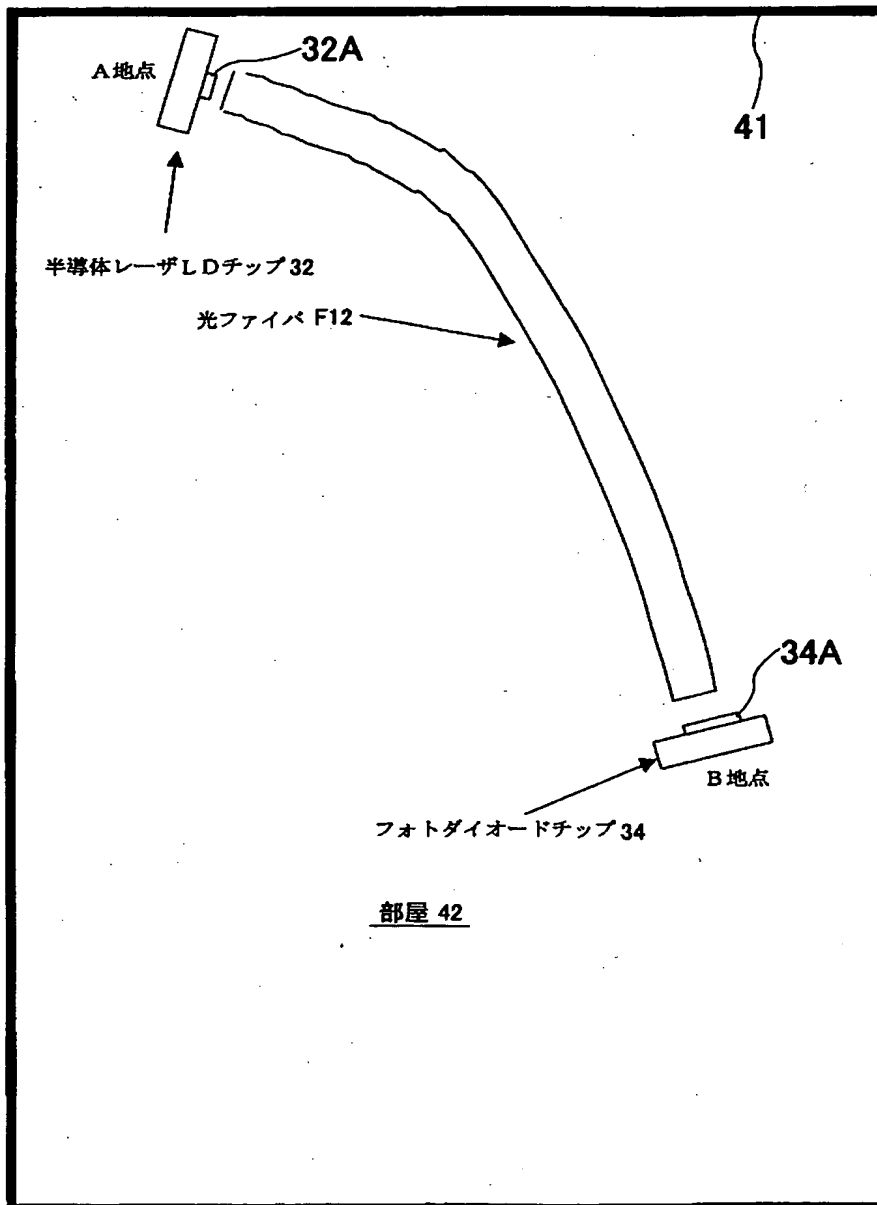
【図 4 3】

従来の光送受信システムを構内に配置した
部屋の例を示す平面図



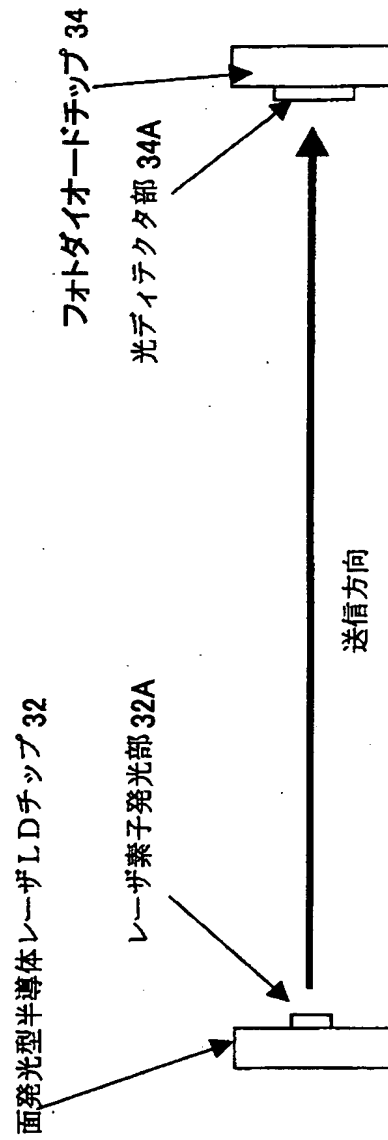
【図 4 4】

従来の光送受信システムを構内に配置した
部屋の他の例を示す平面図



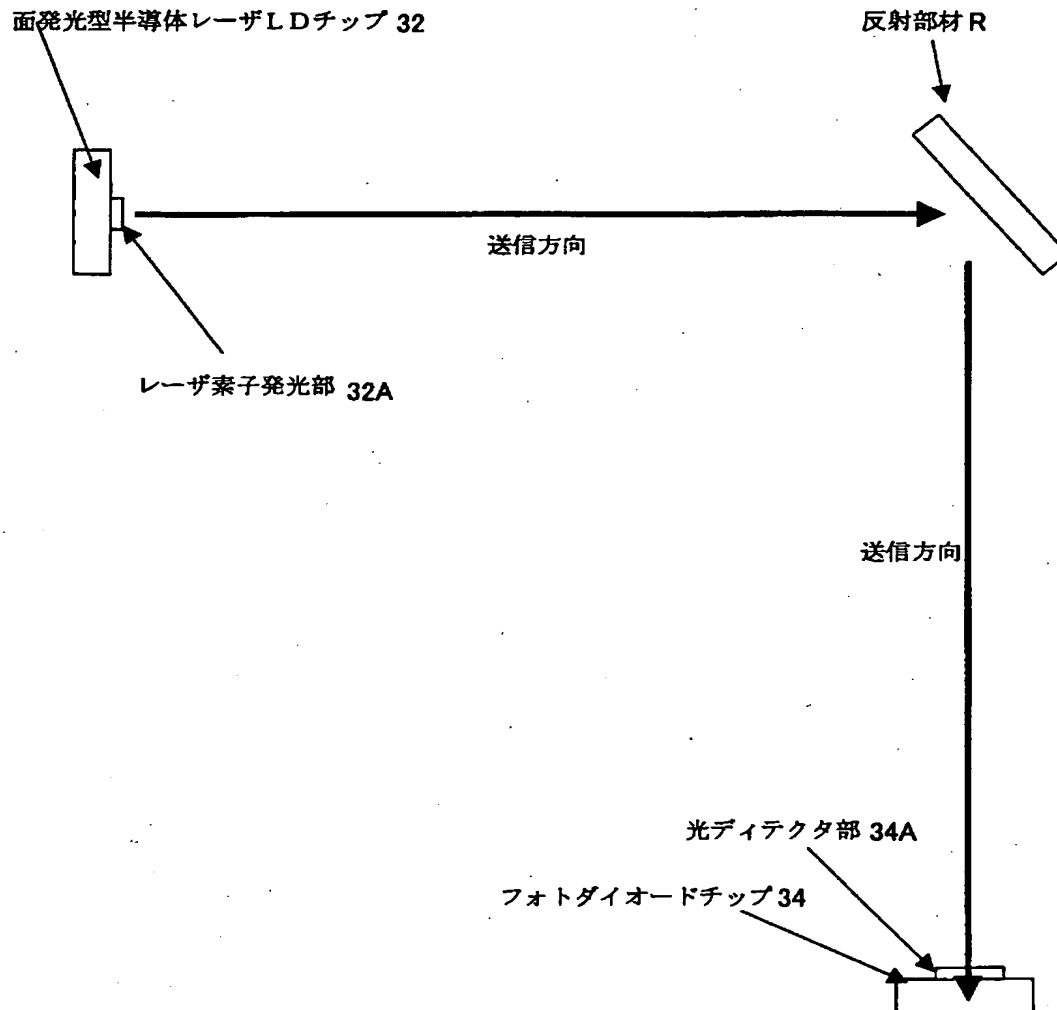
【図 4 5】

本発明の光送受信システムの一例を示す概念図



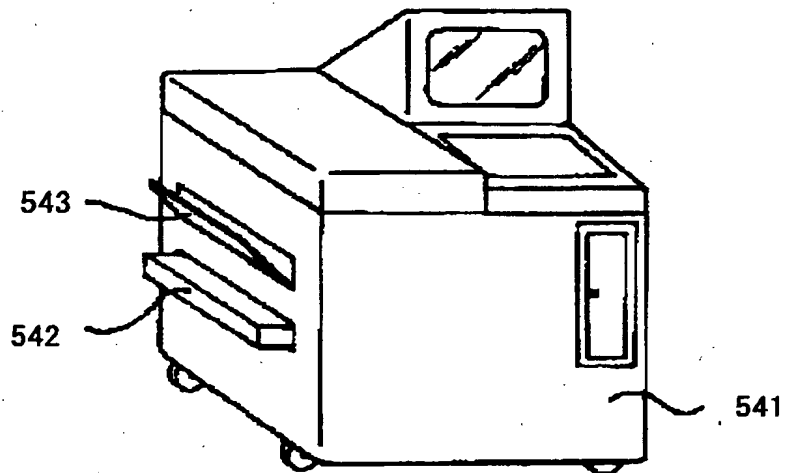
【図 4 6】

本発明の光送受信システムの他の例を示す概念図



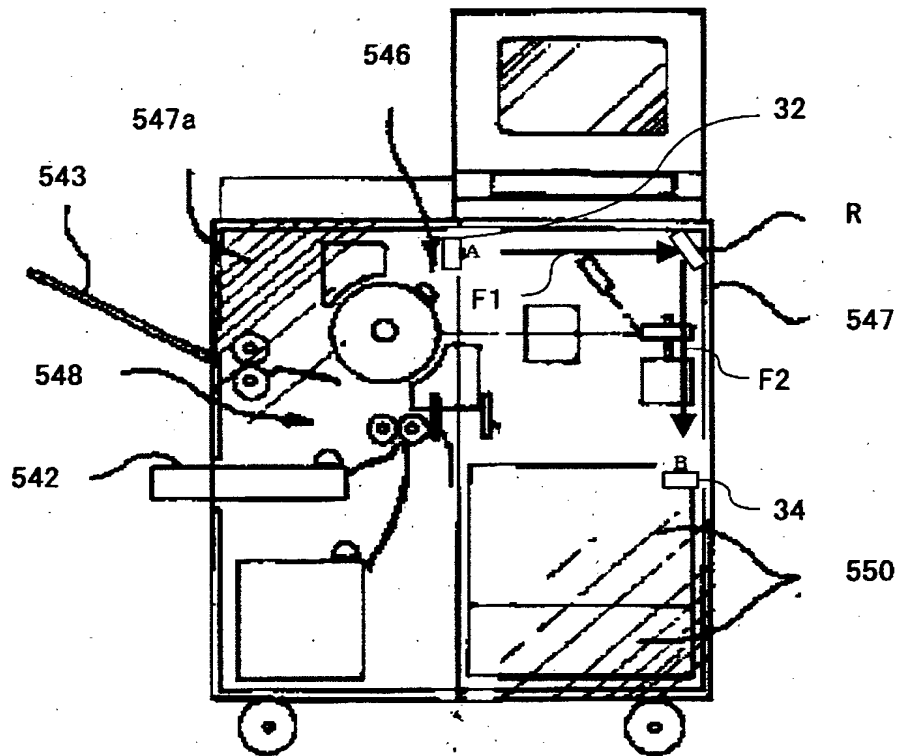
【図 4 7】

本発明が適用される電子写真複写機の一例を示す図



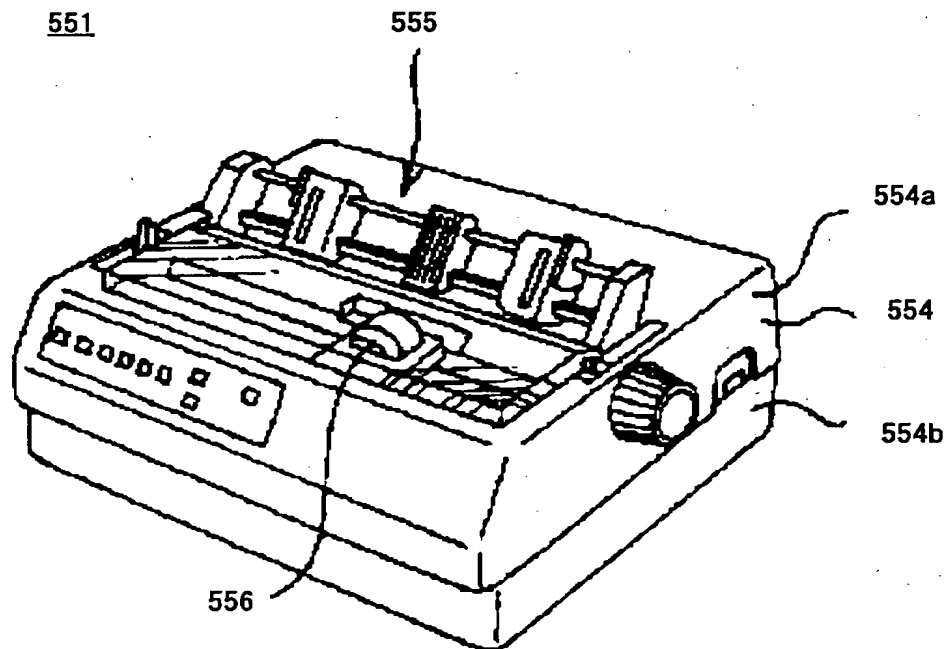
【図 48】

本発明の光送受信システムを内蔵した
電子写真複写機の一例を示す図



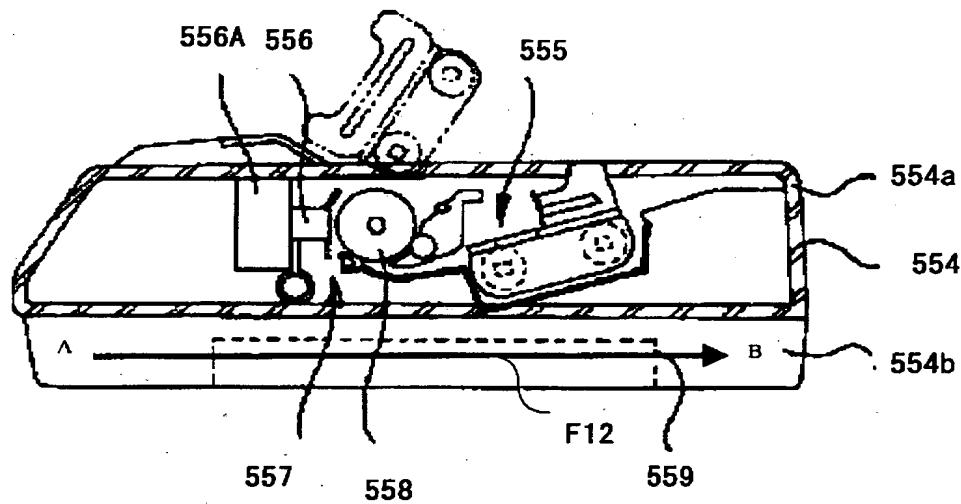
【図 4 9】

本発明が適用されるインクジェット記録装置の一例を示す図



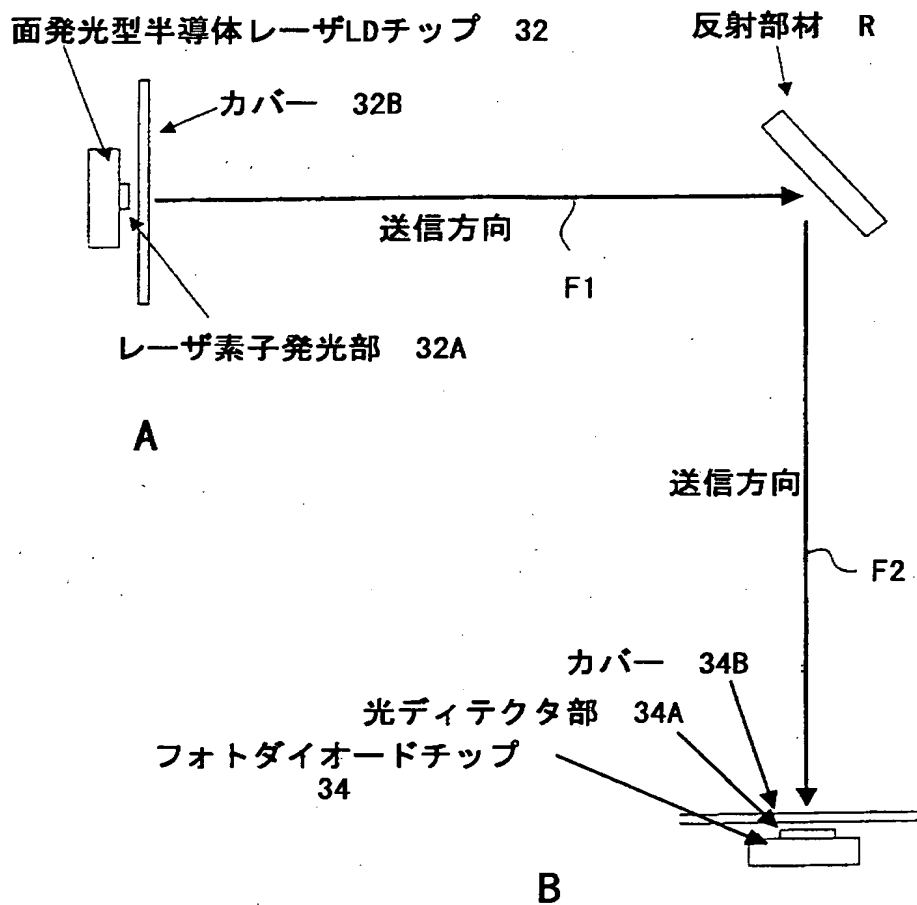
【図 5 0】

本発明の光送受信システムを内蔵し
たインクジェット記録装置の一例を示す図



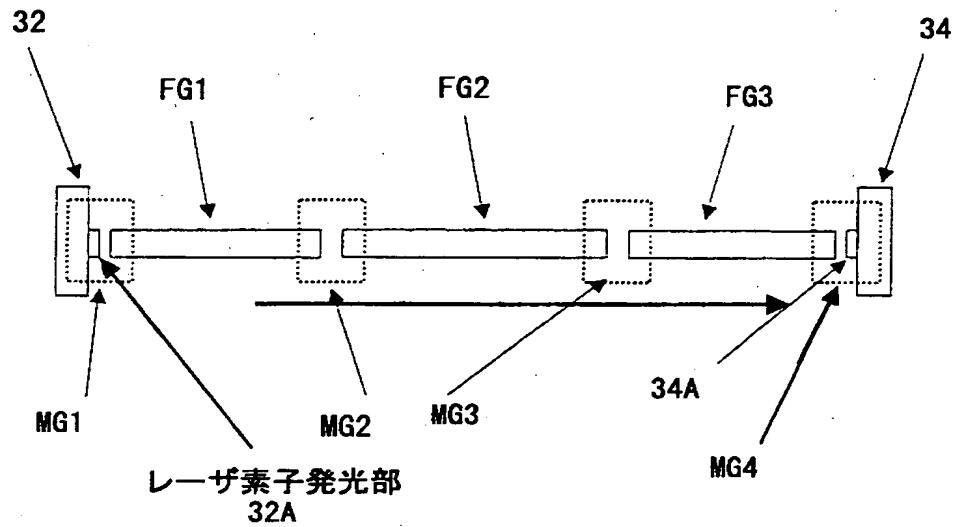
【図 5 1】

本発明の光送受信システムのさらに他の例を示す概念図



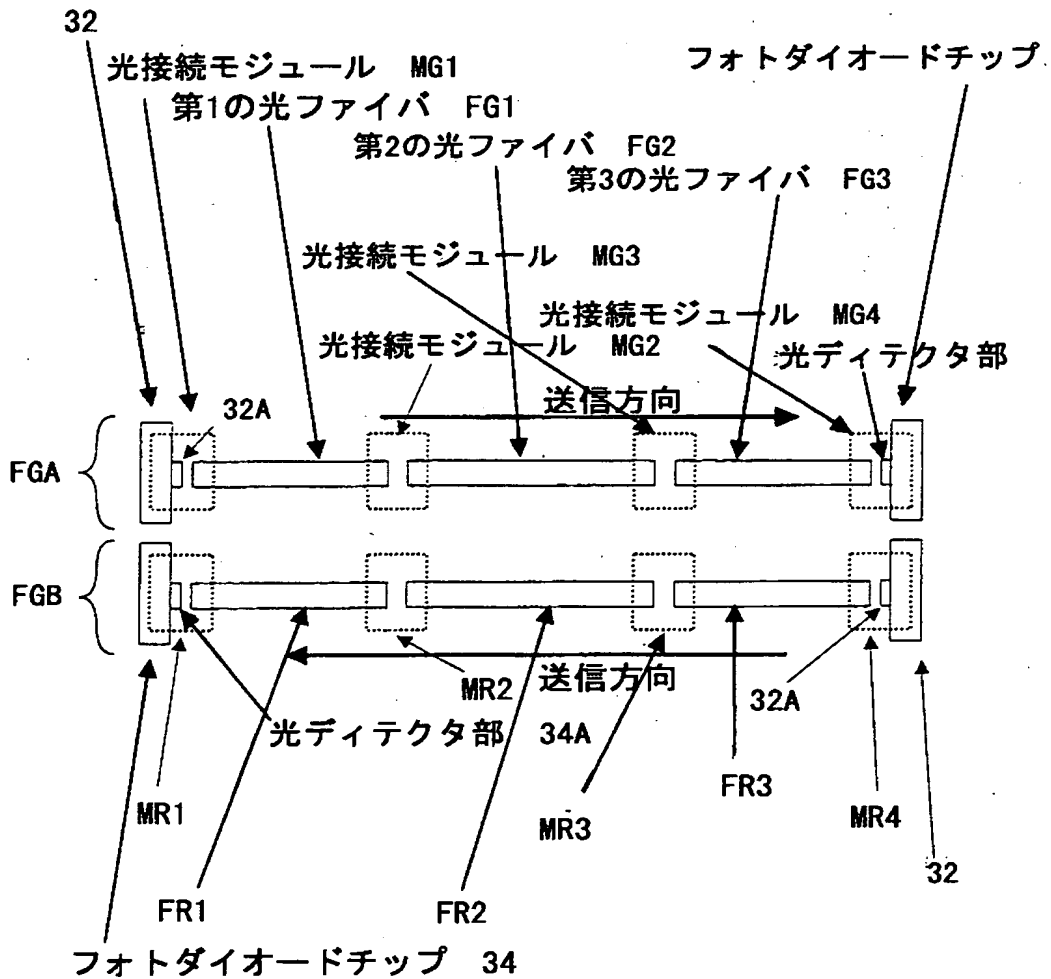
【図 5 2】

本発明の一実施例に係る長波長面発光レーザダイオード
および接続する光通信システムの例を示す図



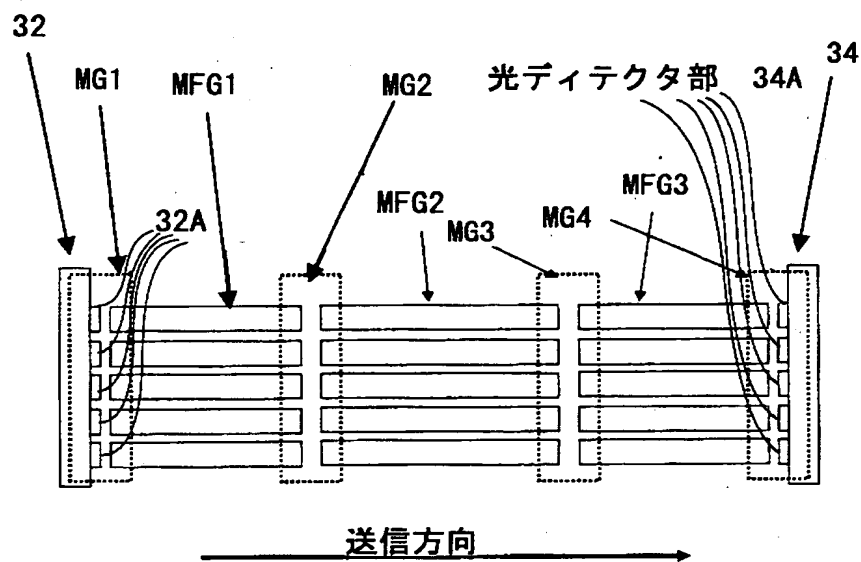
【図 5 3】

本発明の一実施例に係る長波長面発光レーザダイオード
および接続する光通信システムを使って構成した
双方向システムを示す図



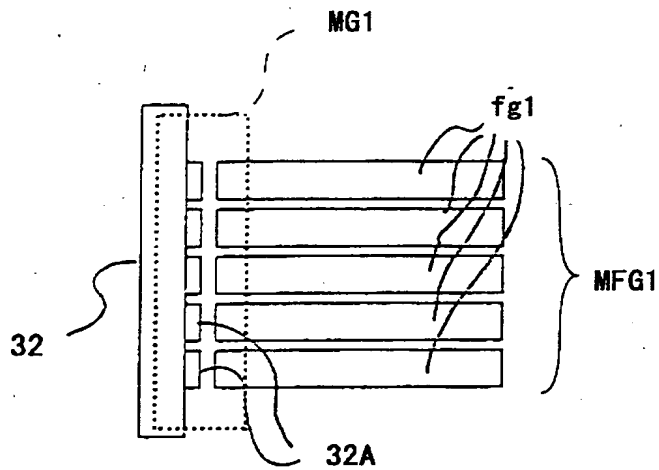
【図 5 4】

本発明の一実施例に係る長波長面発光レーザダイオード
および接続する光通信システムで、複数のファイバ群を
利用した大容量光通信システムの例を示す図



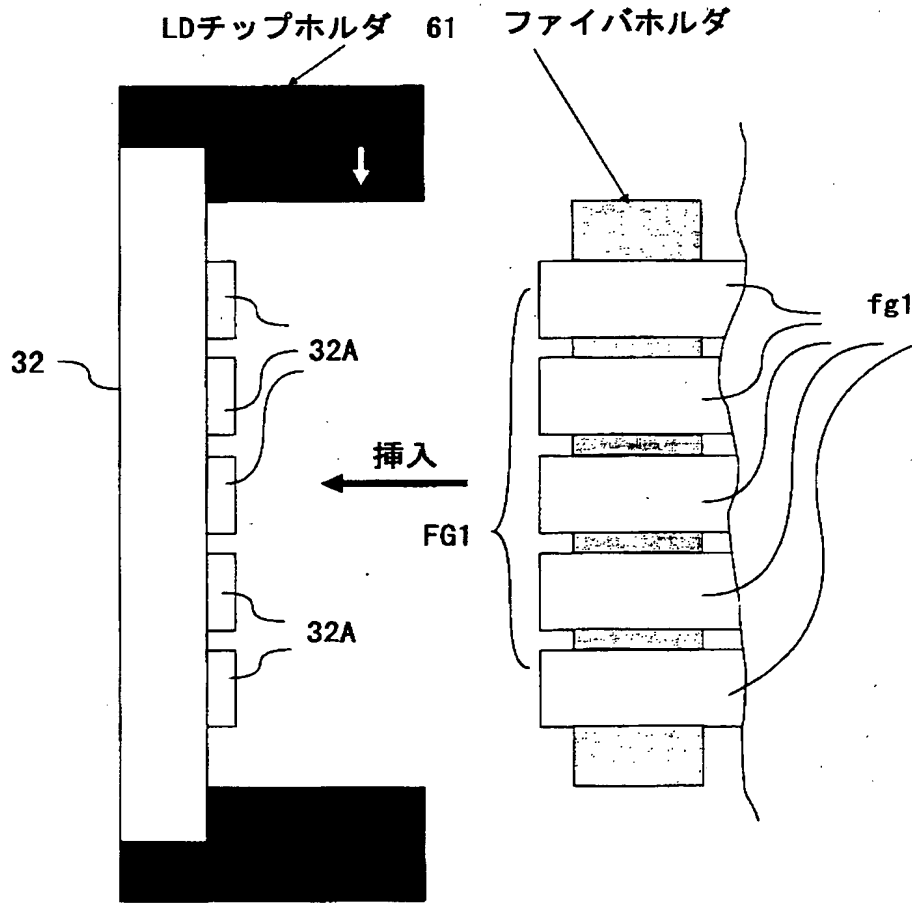
【図 5 5】

本発明の一実施例に係る長波長面発光レーザダイオード
および接続する光通信システムを示す図



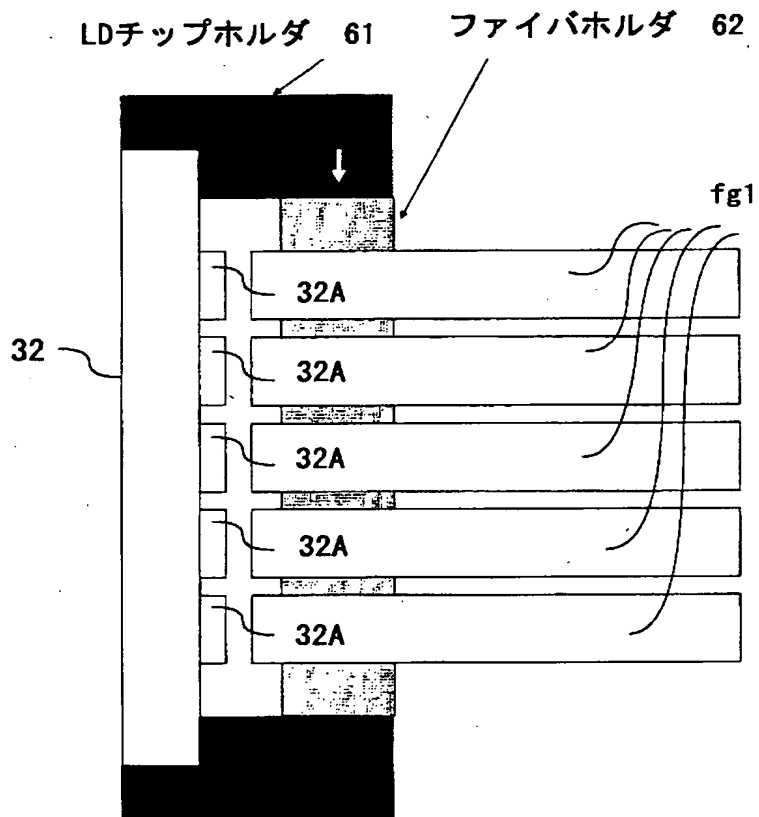
【図 5 6】

本発明の一実施例に係る長波長面発光レーザダイオードを
使った光通信システムで使われる
光接続モジュールの構成を示す図



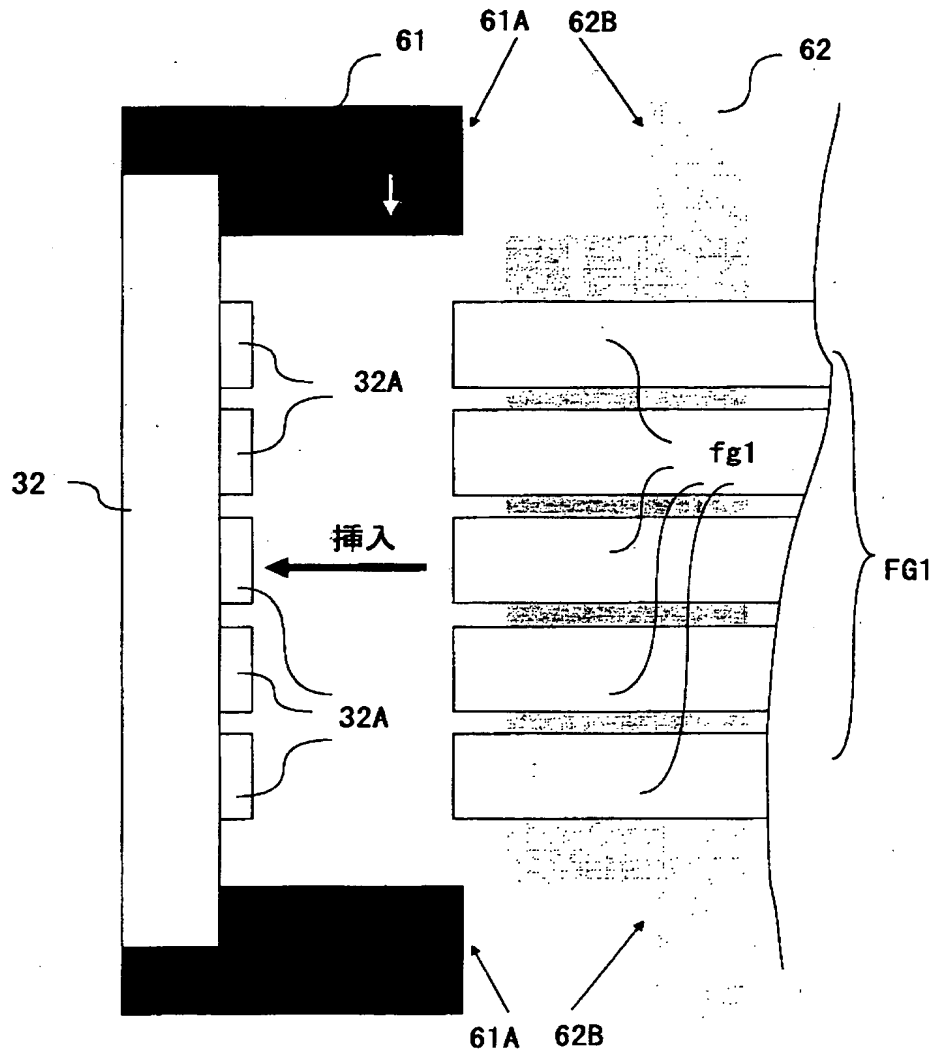
【図 5 7】

本発明の一実施例に係る長波長面発光レーザダイオードを
使った光通信システムで使われる
光接続モジュールの構成を示す別の図



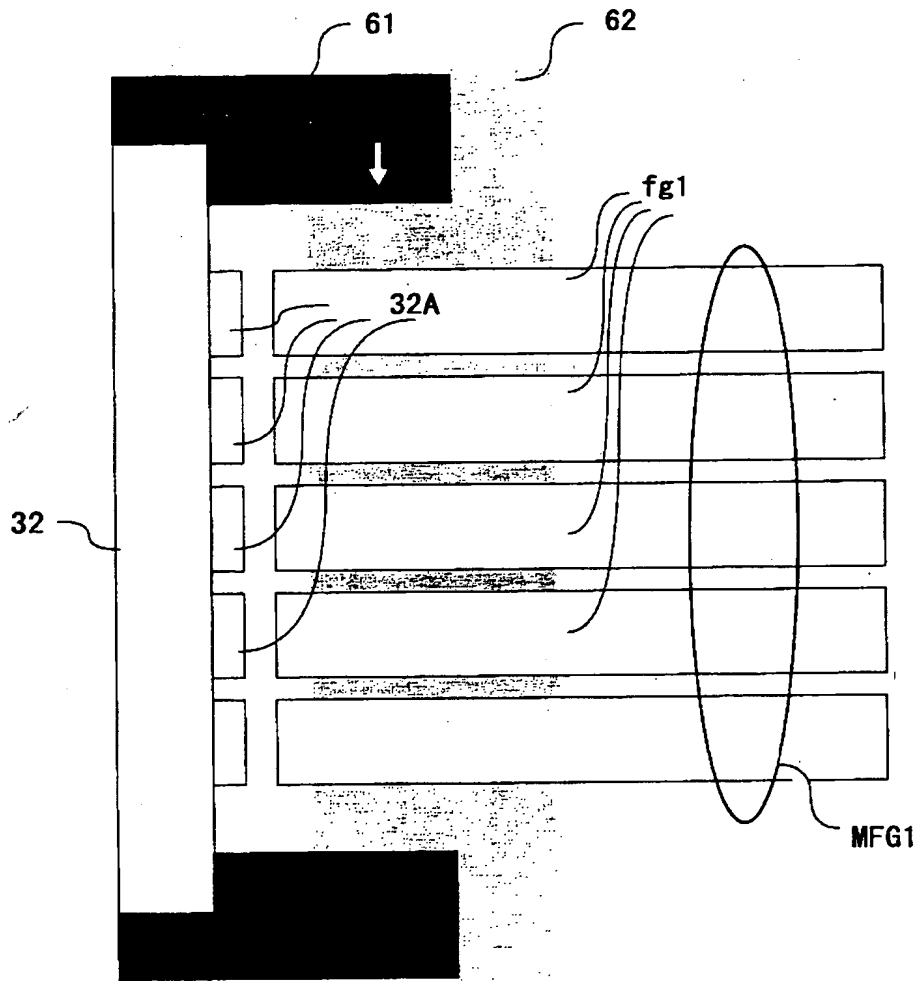
【図 5 8】

本発明の一実施例に係る長波長面発光レーザダイオードを使った光通信システムの他の構成を示す図



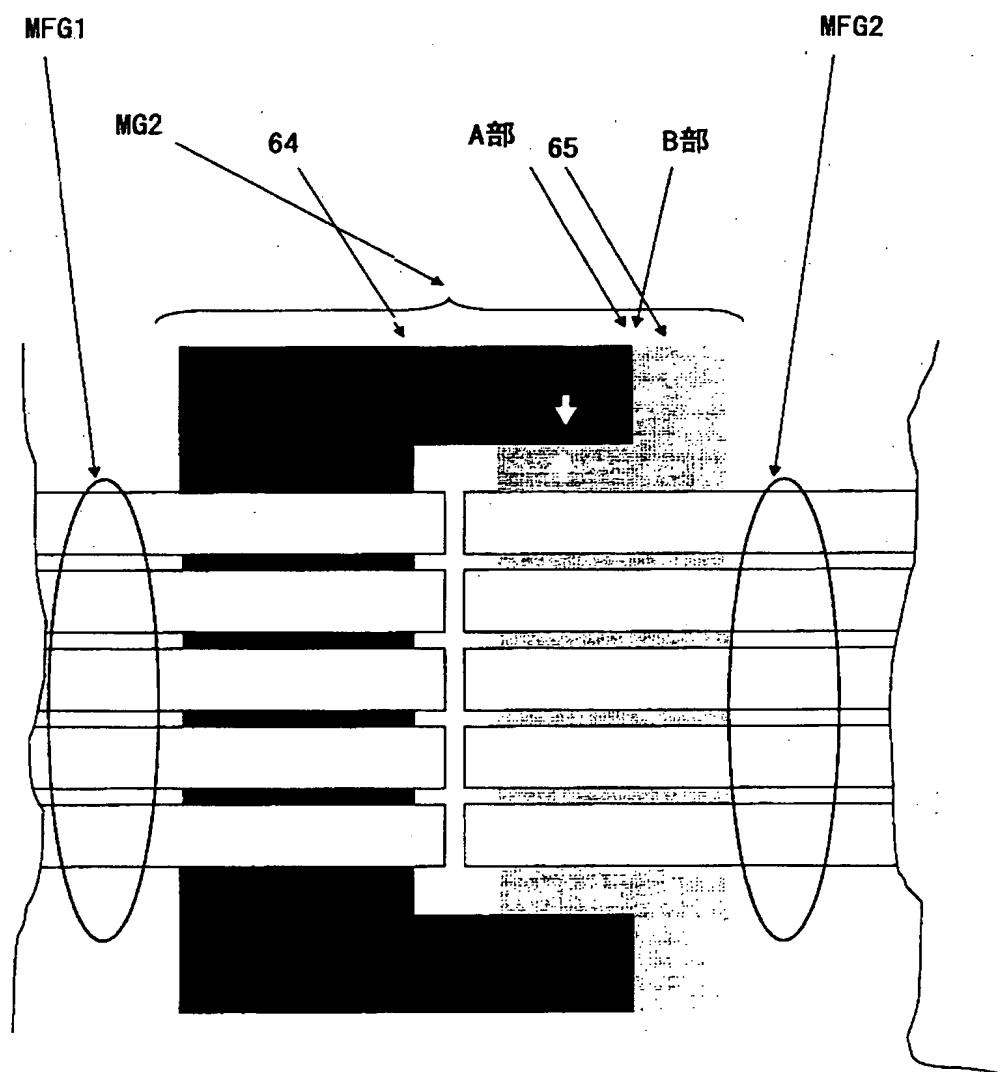
【図 5 9】

本発明の一実施例に係る長波長面発光レーザダイオードを使った
光通信システムの他の構成を示す別の図



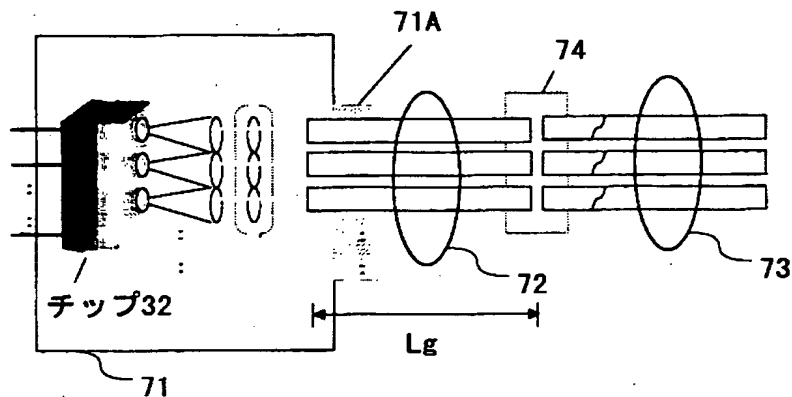
【図60】

本発明の一実施例に係る長波長面発光レーザダイオードを使った
光通信システムの光接続モジュールの構成を説明する図



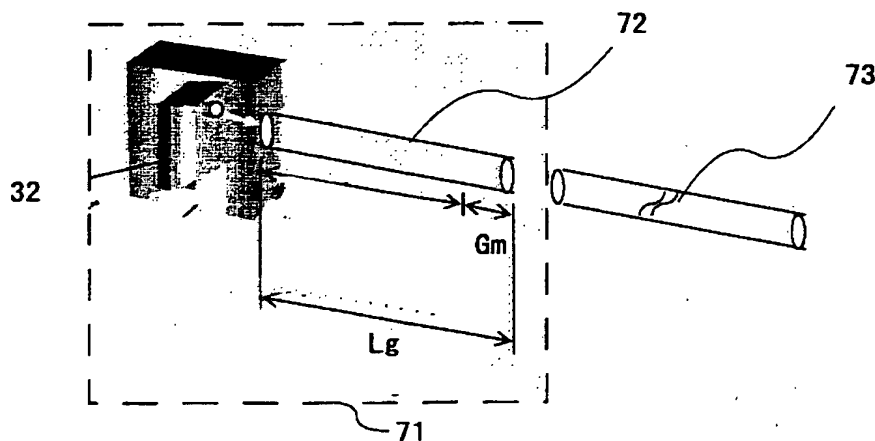
【図 6 1】

本発明の一実施例に係る長波長面発光レーザダイオードを使った
光通信システムの構成を示す図



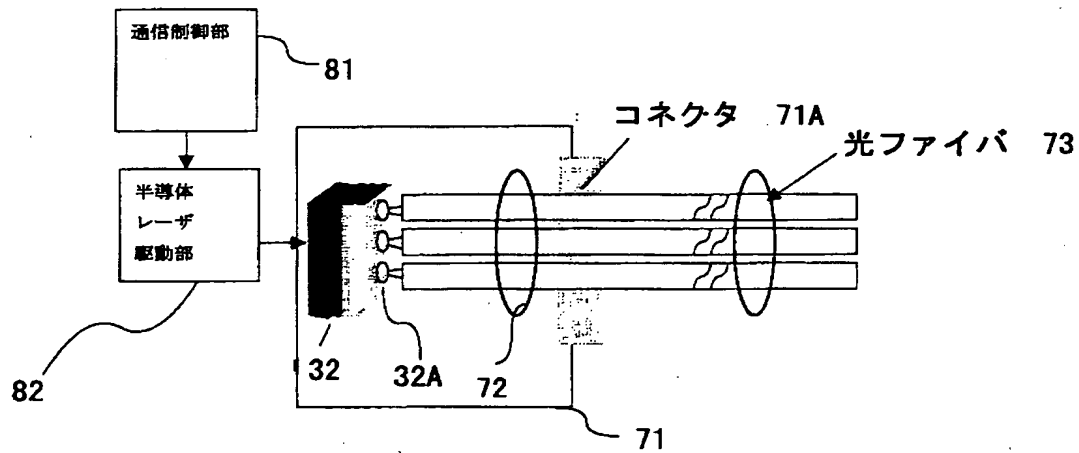
【図 6 2】

本発明の一実施例に係る長波長面発光レーザダイオードを使った
光通信システムにおけるガイド用光ファイバの長さ設定を示す図



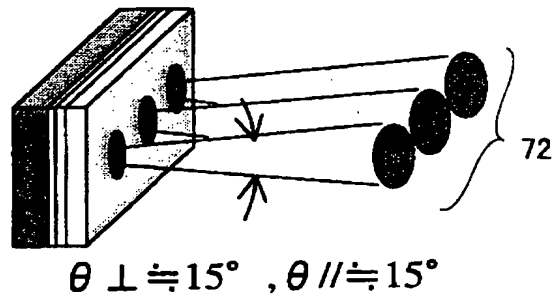
【図 6 3】

本発明の一実施例に係る長波長面発光レーザダイオード素子と複数の光ファイバを用いた光通信システムの構成を示す図



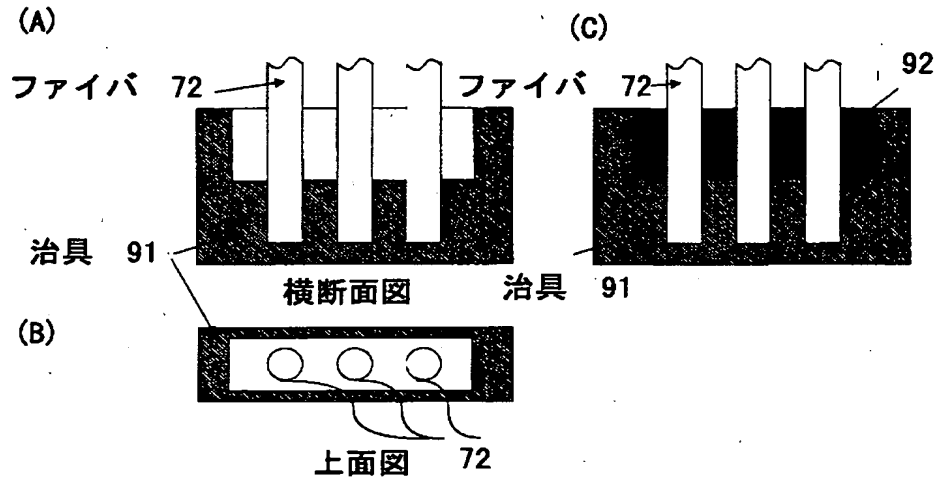
【図 6 4】

本発明の一実施例に係る長波長面発光レーザダイオード素子における光ビームの出射角を示す図



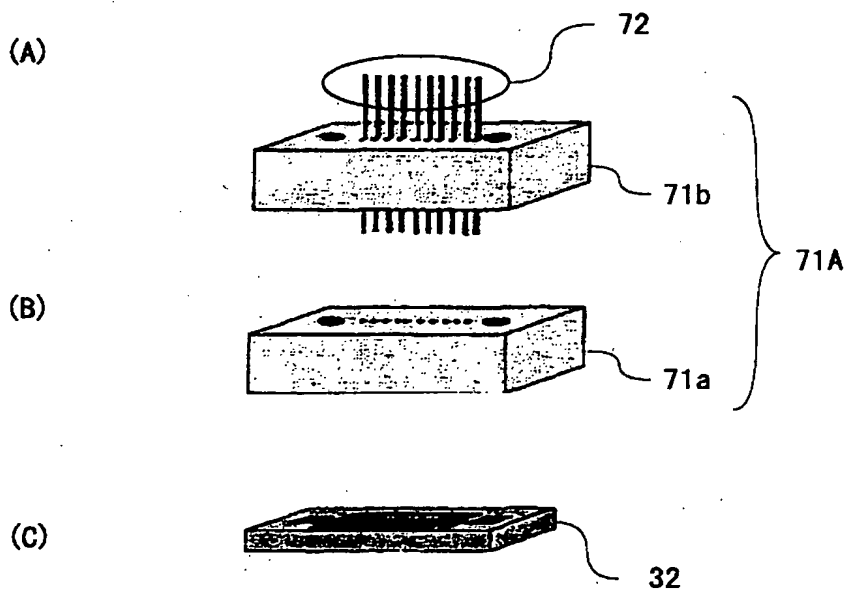
【図 6 5】

(A) ~ (C) は、本発明の一実施例に係る
複数のファイバを樹脂で固定する過程を示す図



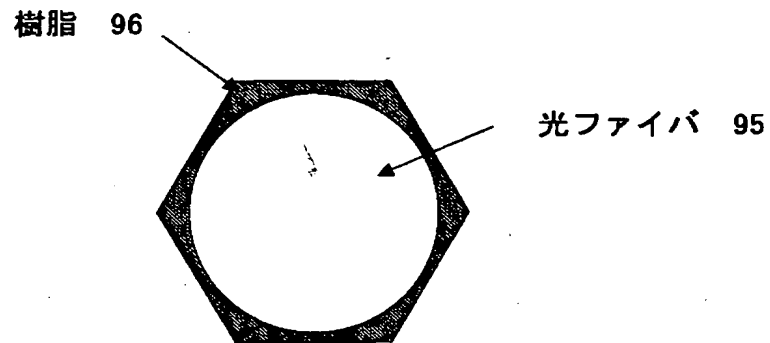
【図 6 6】

(A) ~ (C) は、本発明の一実施例に係る長波長面発光
レーザダイオード素子と複数の光ファイバの接続形態を示す図



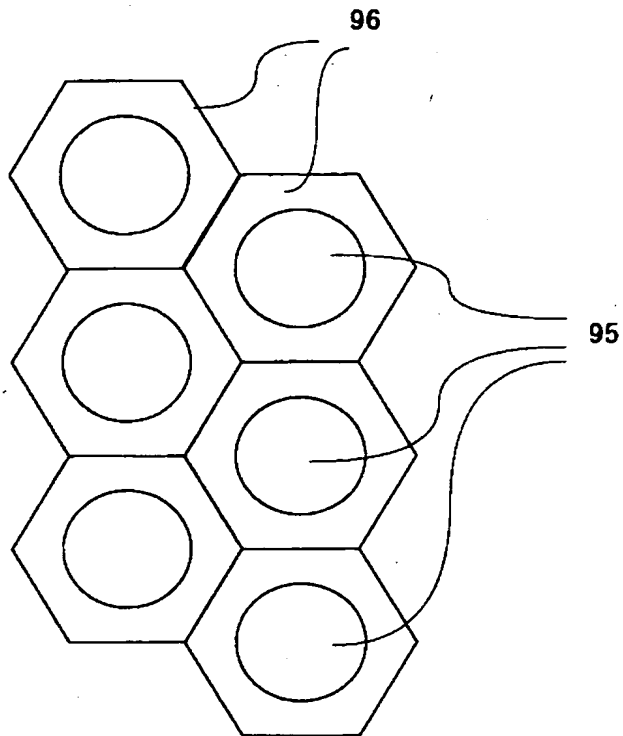
【図 6 7】

本発明の一実施例に係る最密充填における
光ファイバの配置可能な位置を示す図



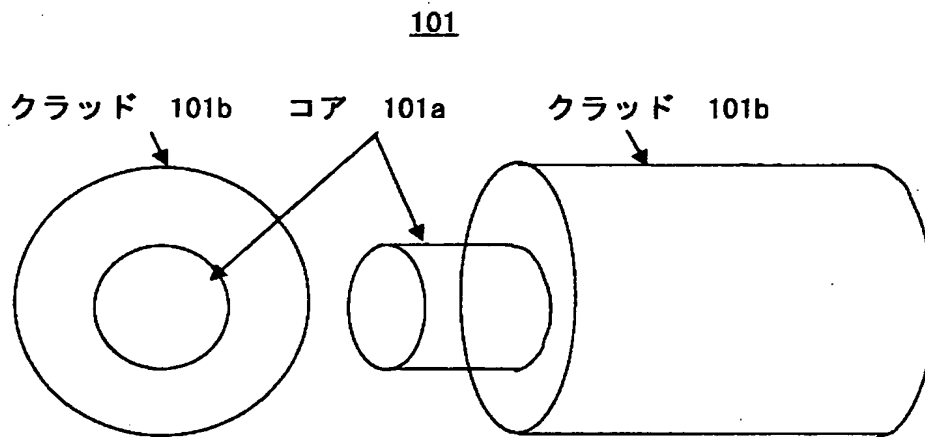
【図 6 8】

本発明の一実施例に係る最密充填で
複数のファイバを配置した例を示す図



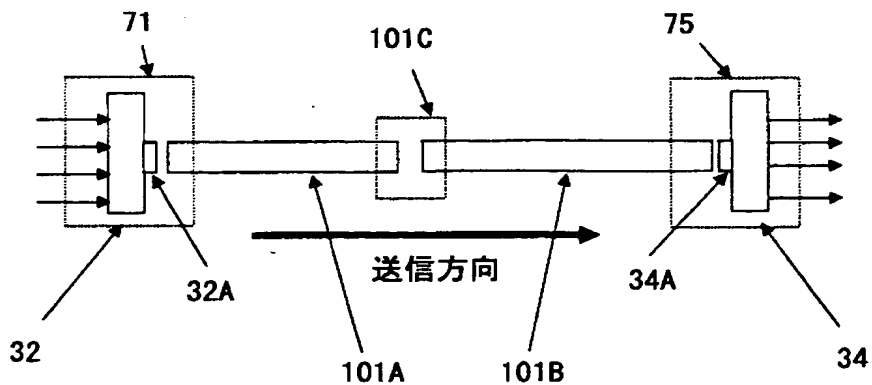
【図 6 9】

本発明の一実施例に係る長波長面発光レーザダイオードに
接続する光ファイバの構成を示す断面図



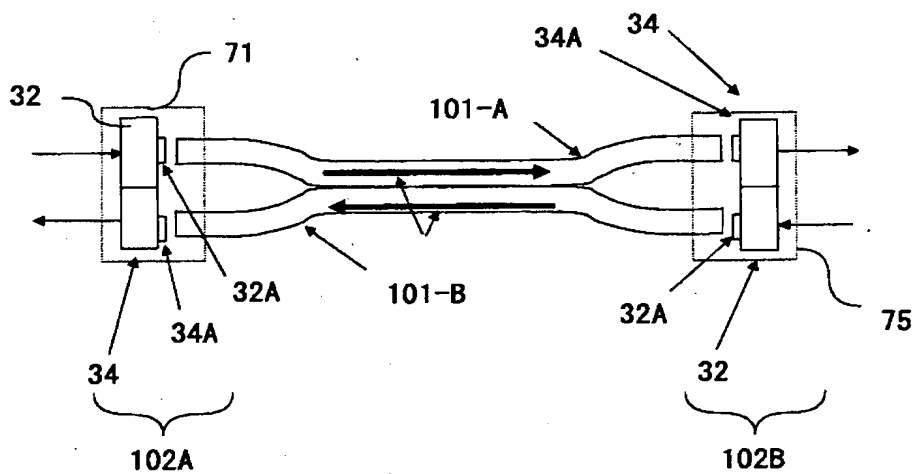
【図 7 0】

本発明の一実施例に係る長波長面発光レーザダイオードおよび
接続する光ファイバを用いた光通信システムの構成を示す平面図



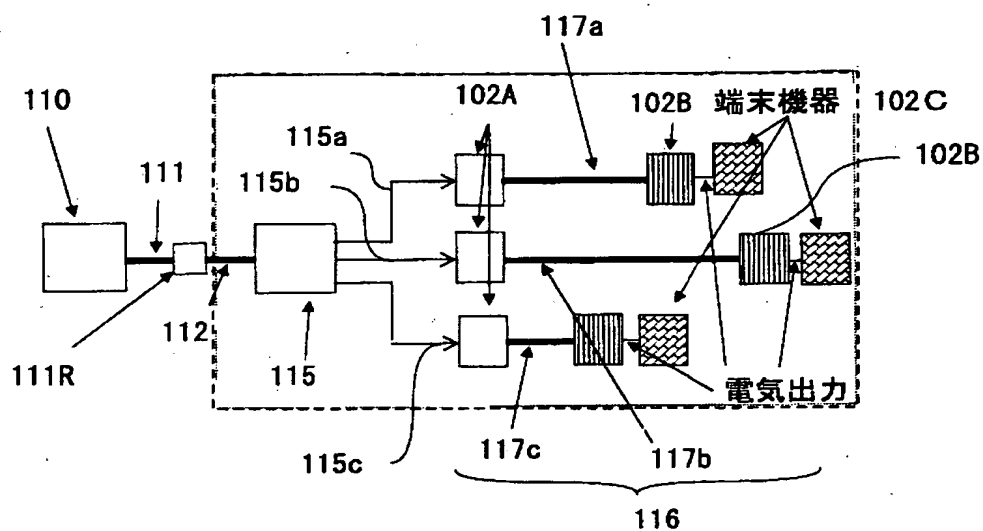
【図 7 1】

本発明の一実施例に係る長波長面発光レーザダイオード
および接続する光ファイバを用いた双方向の
光通信システムの構成を示す平面図



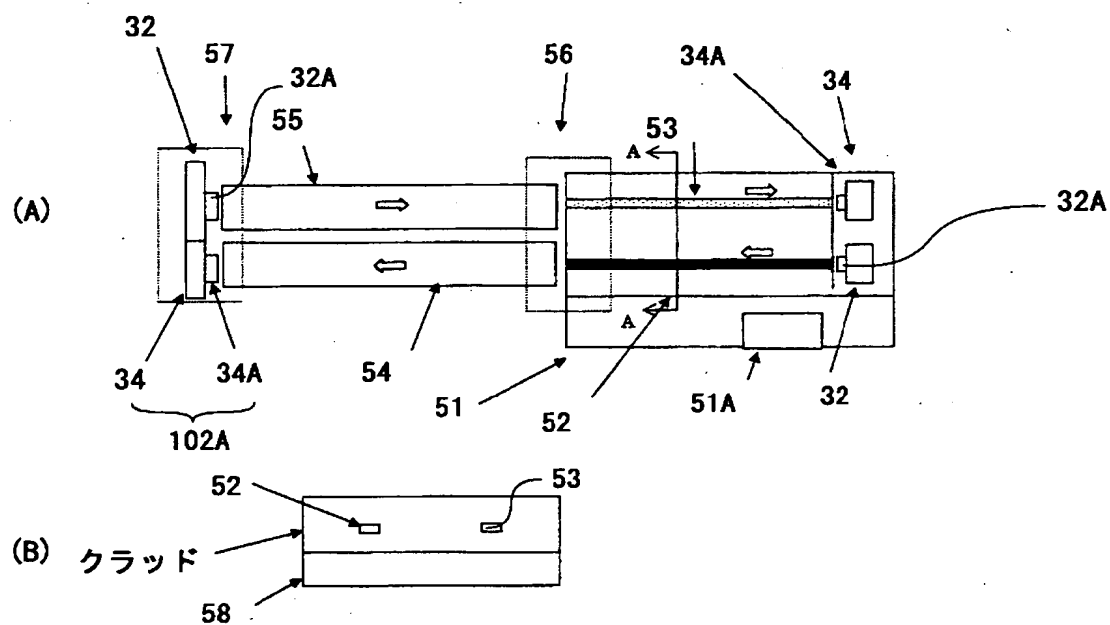
【図 7 2】

本発明の一実施例に係る長波長面発光レーザダイオードおよび
接続する光ファイバの機能を分離したビル内LANの構成を示す平面図



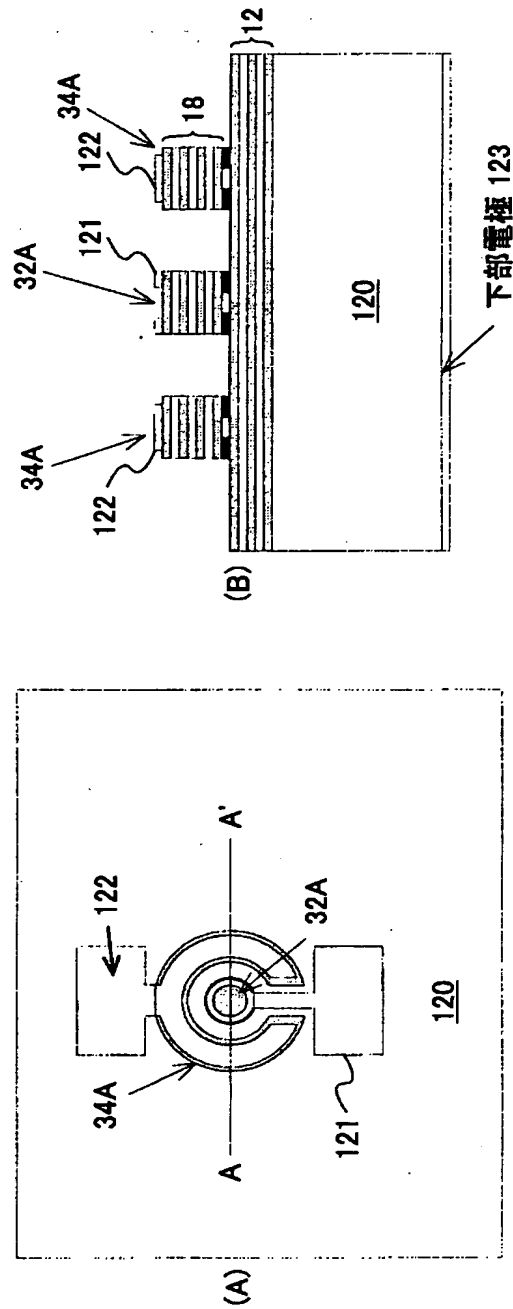
【図 7 3】

(A), (B) は、本発明の一実施例に係る長波長面発光レーザダイオードおよび集積型光通信装置を示す平面図と光導波路の断面図



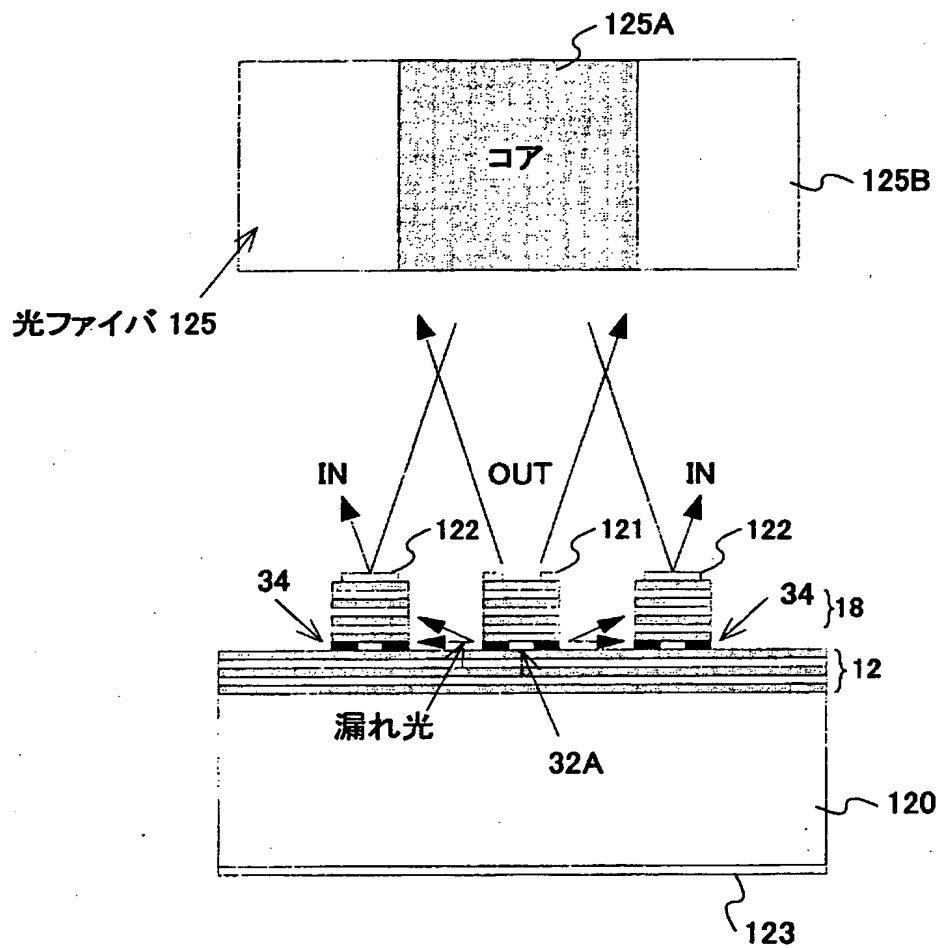
【図 7 4】

(A), (B) は、本発明の一実施例に係る長波長面発光レーザダイオードチップの構成を示す図



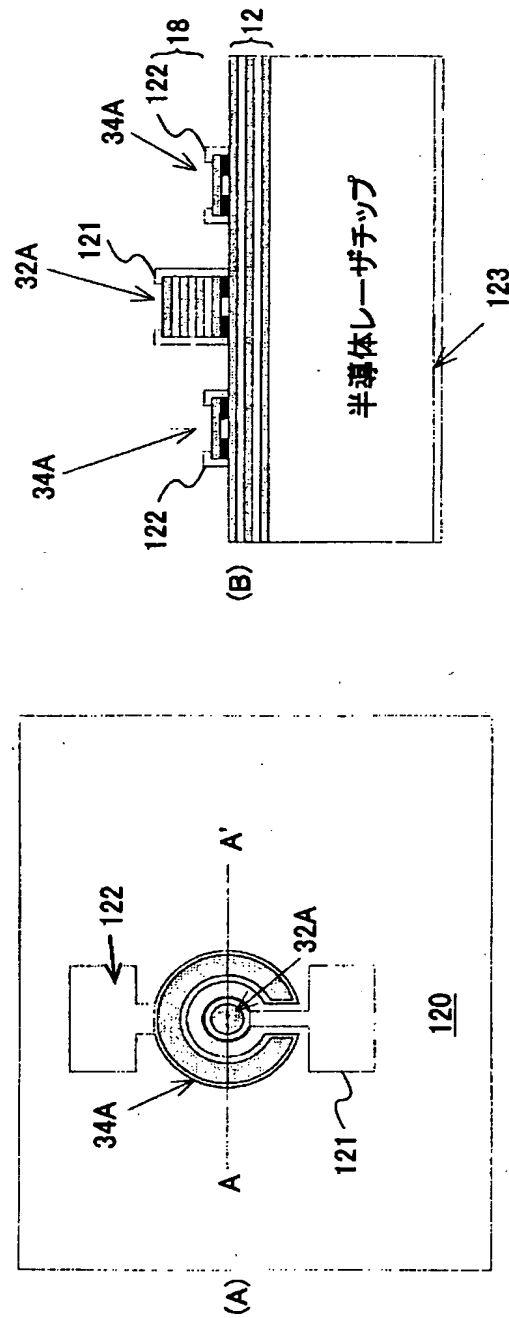
【図 7 5】

図 7 4 に示した半導体レーザダイオード
チップの動作を説明する図



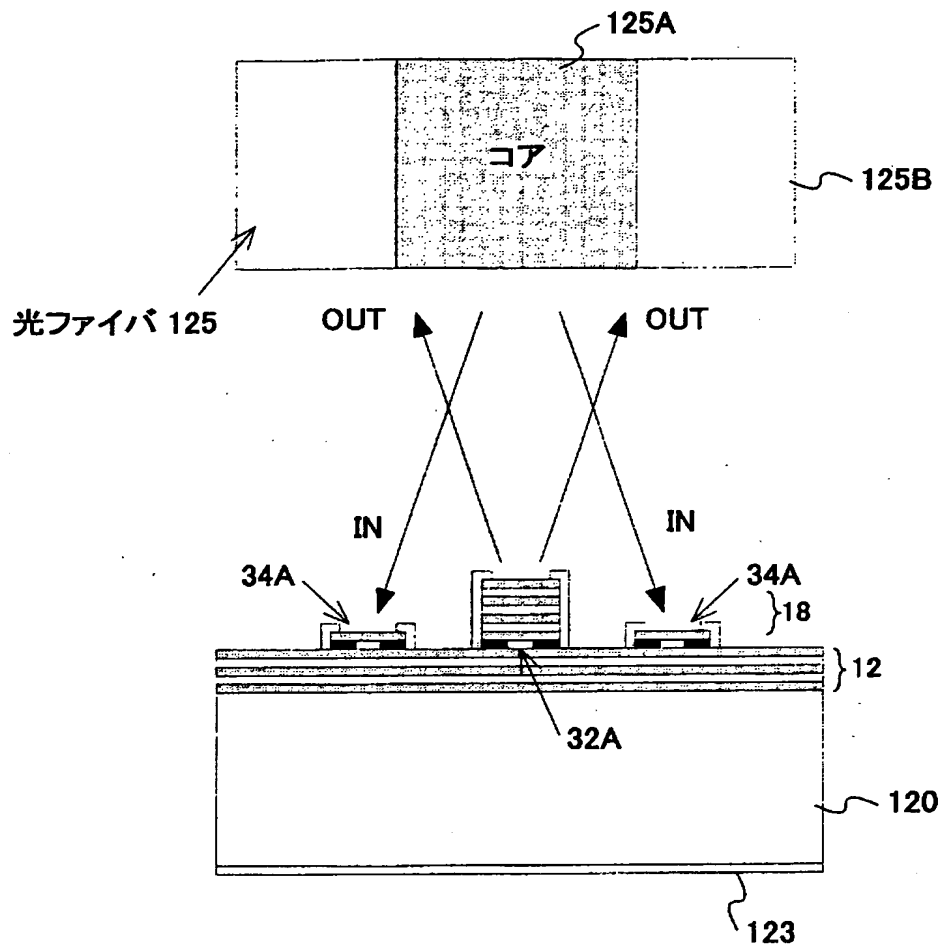
【図 7 6】

(A)、(B)は、本発明の一実施例に係る長波長面発光レーザーダイオードチップの構成を示す図



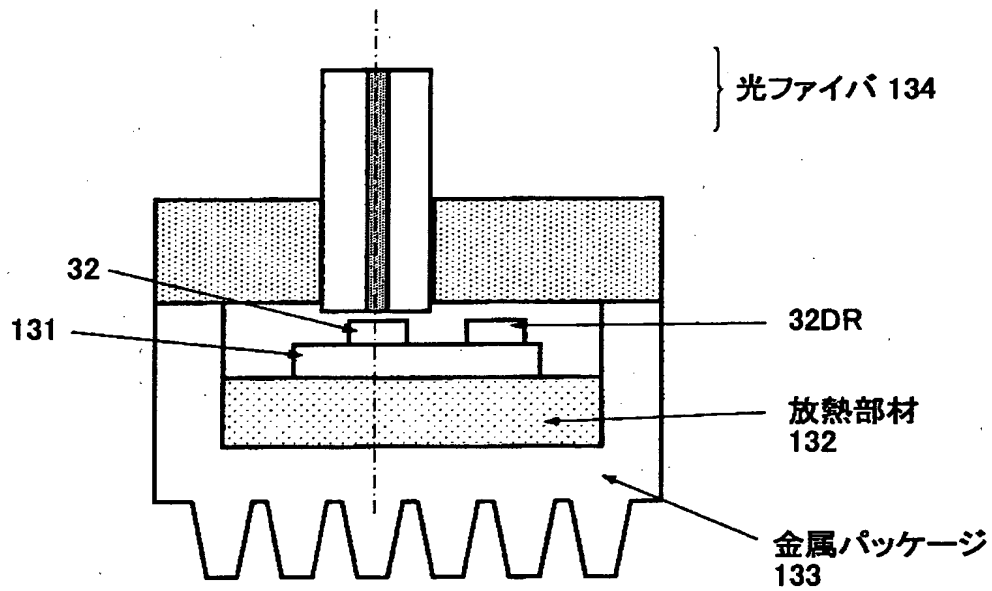
【図 77】

図 76 に示したレーザダイオードチップの動作を説明する図



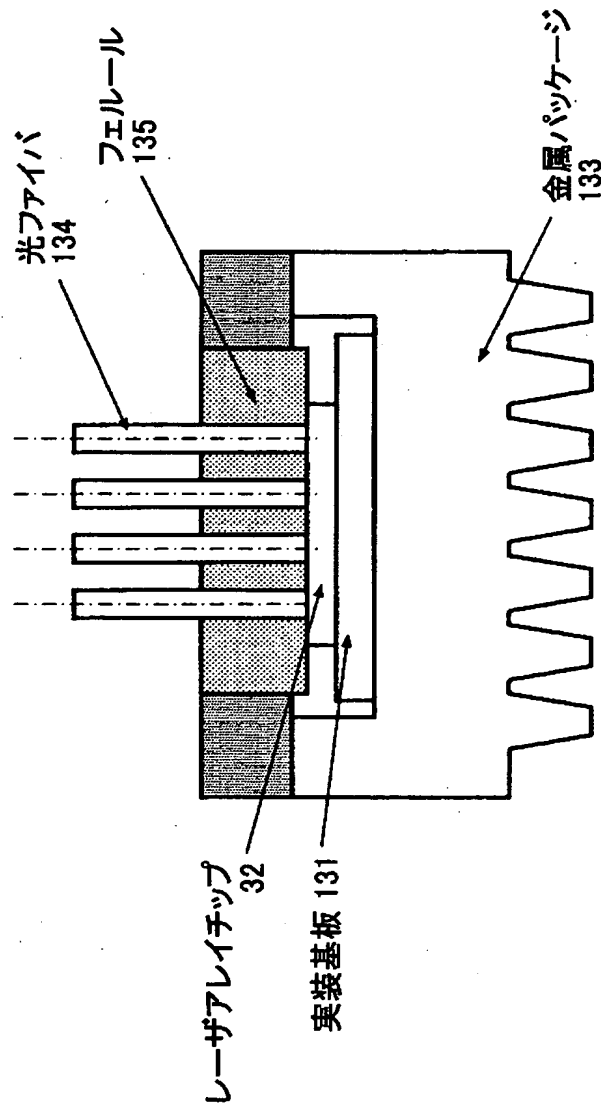
【図 7 8】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオード素子を用いた通信システムの光送信部を示す図



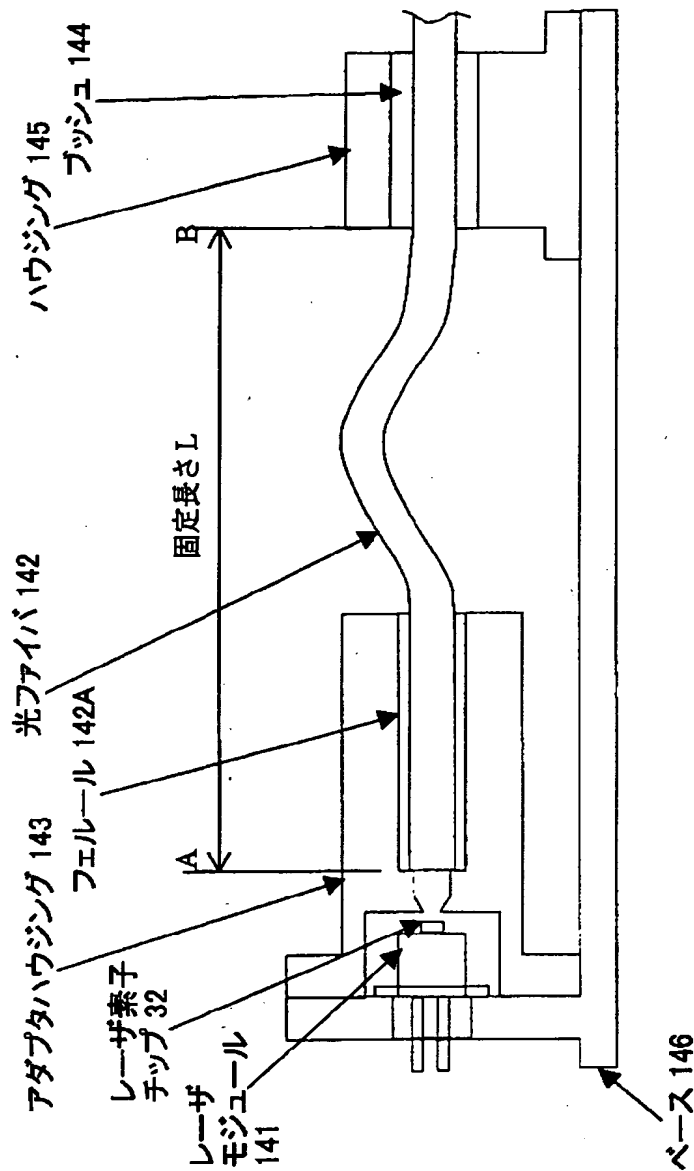
【図 7 9】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオード素子を用いた通信システムの光送信部を示す図



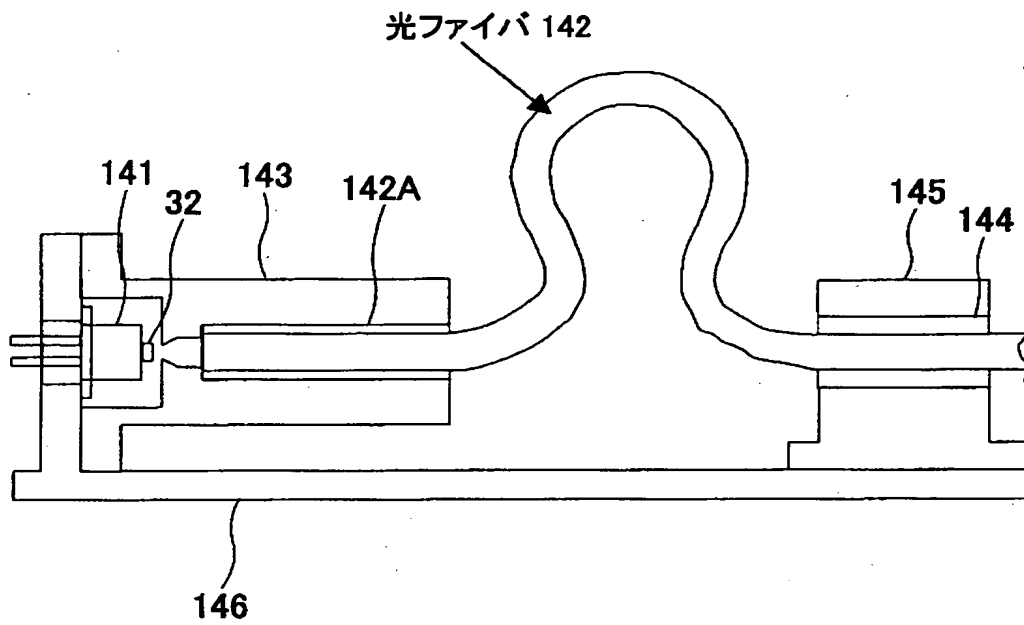
【図 80】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオード素子
に使われる光結合装置を示す断面図



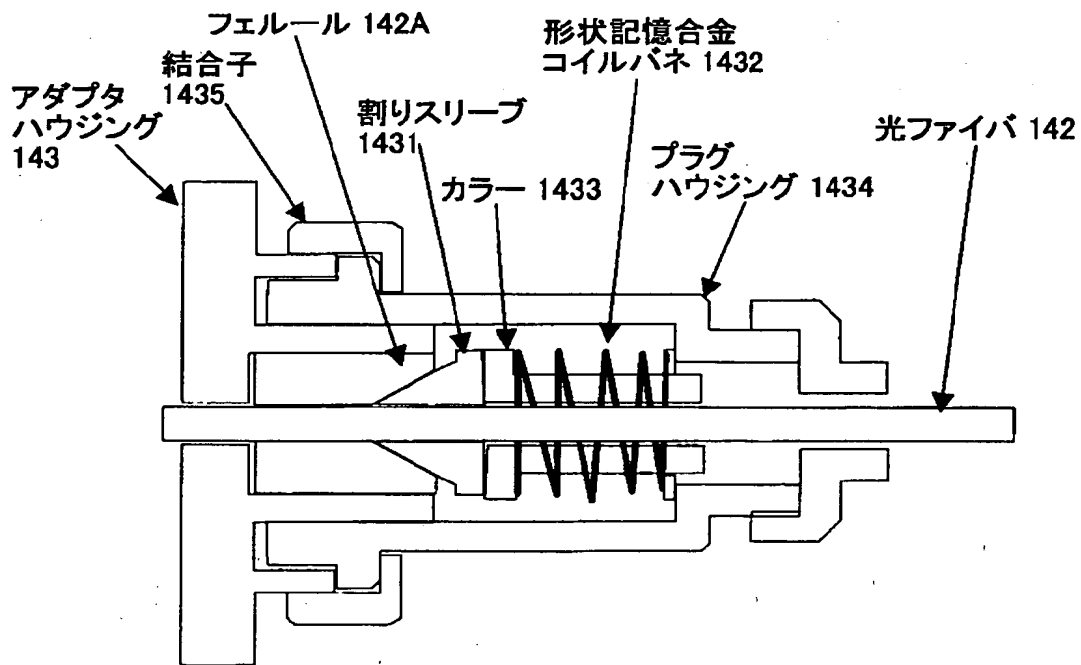
【図 8 1】

図80の光結合装置を示す断面図



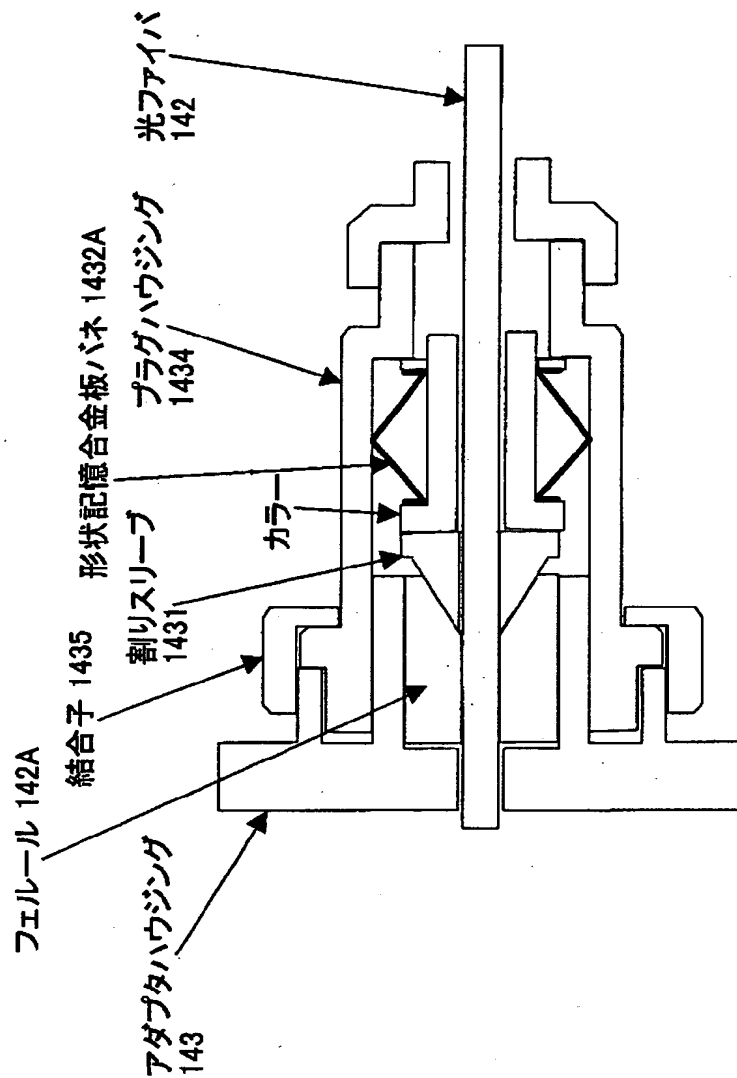
【図 8 2】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオード素子と光結合する光結合装置を示す断面図



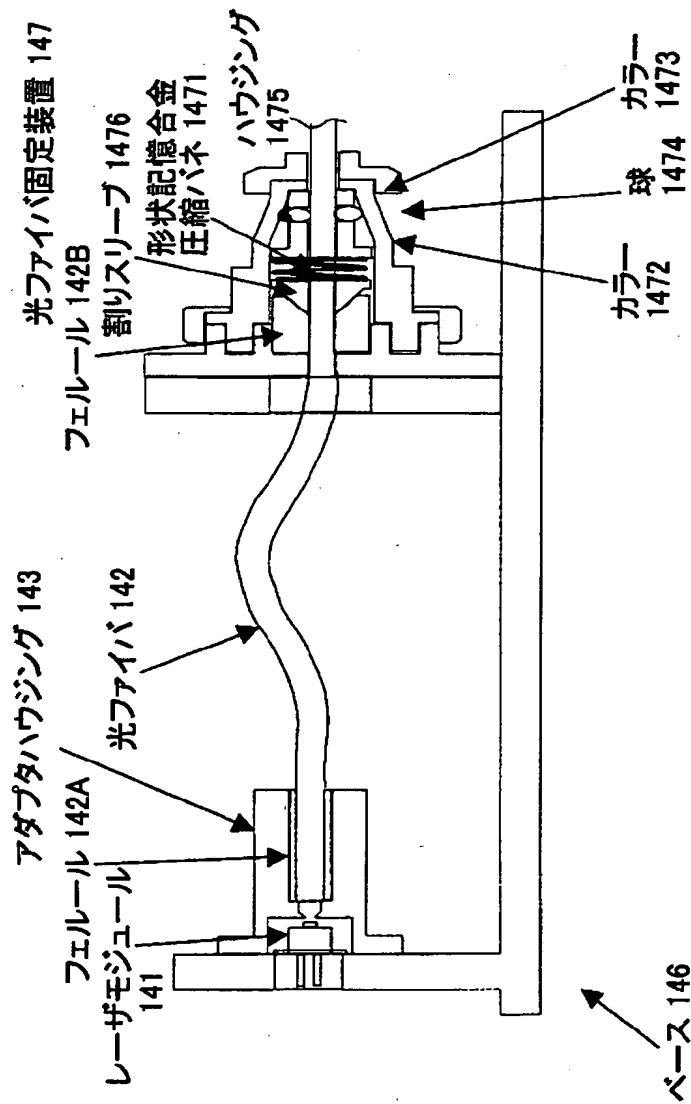
【図 83】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオード素子と光結合する光結合装置を示す断面図



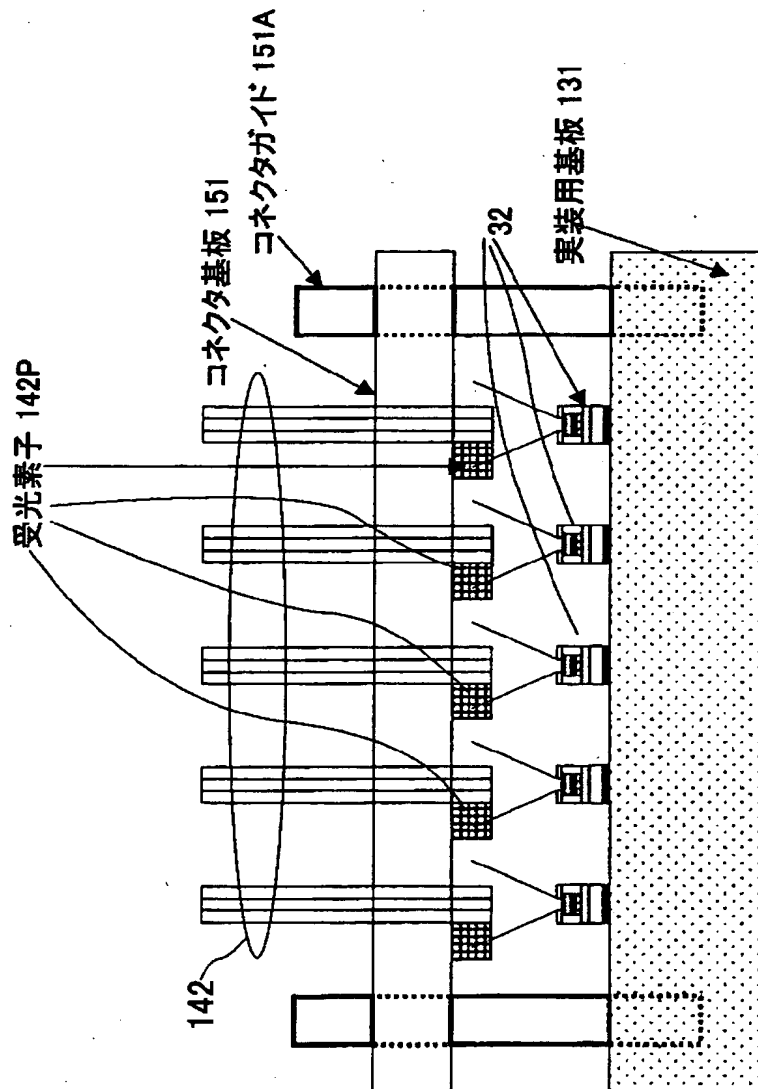
【図 84】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザーダイオード素子
で使われる光ファイバ固定装置を示す断面図



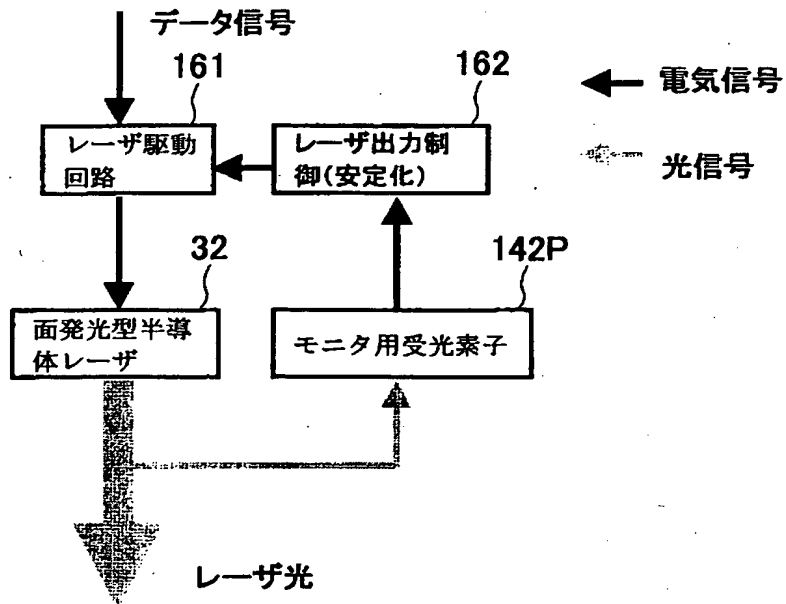
【図 8 6】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオード素子を用いた光通信システムの面発光レーザダイオードとモニタ用受光素子の位置関係を示す図



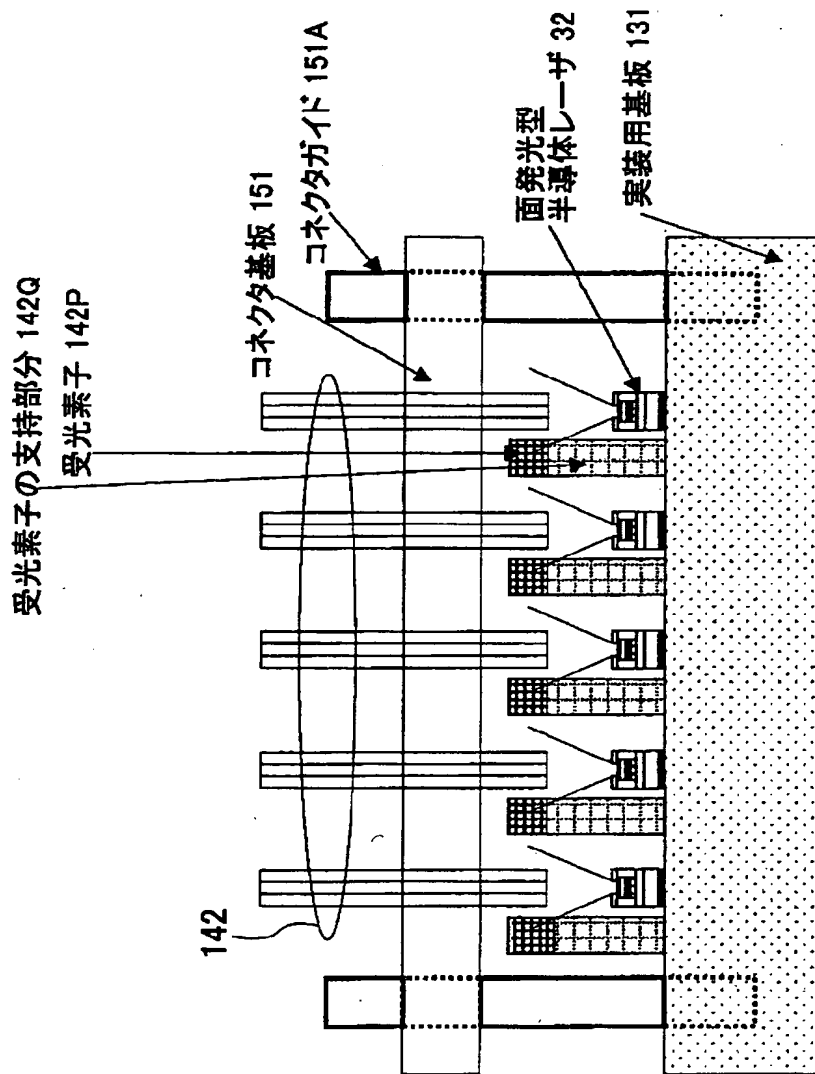
【図 8 7】

本発明の一実施例による面発光レーザダイオードの出力を制御する制御回路の構成を示すブロック図



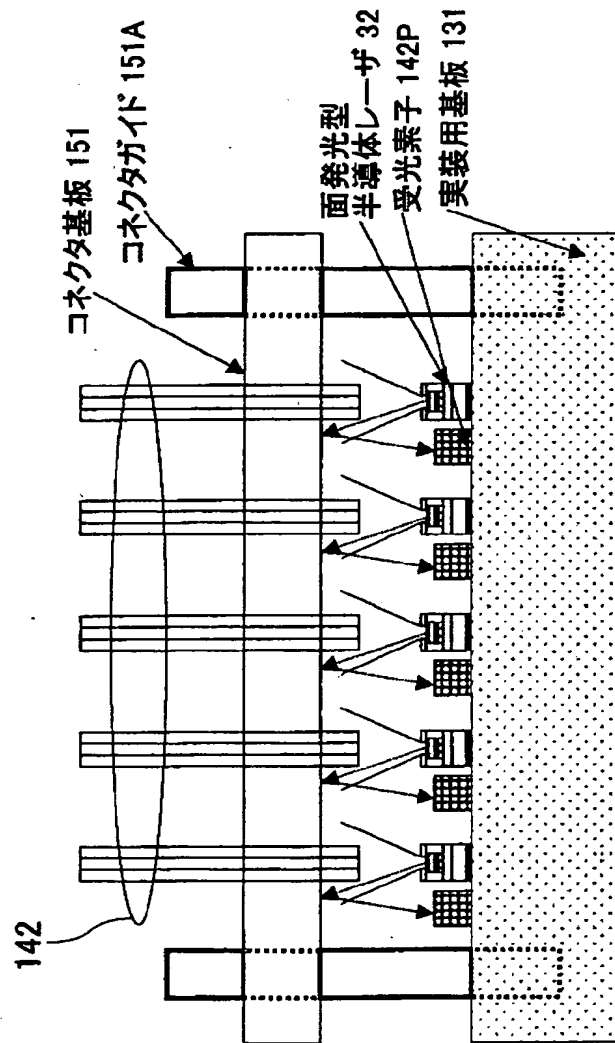
【図 88】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザーダイオード素子を用いた光通信システムの構成示す図



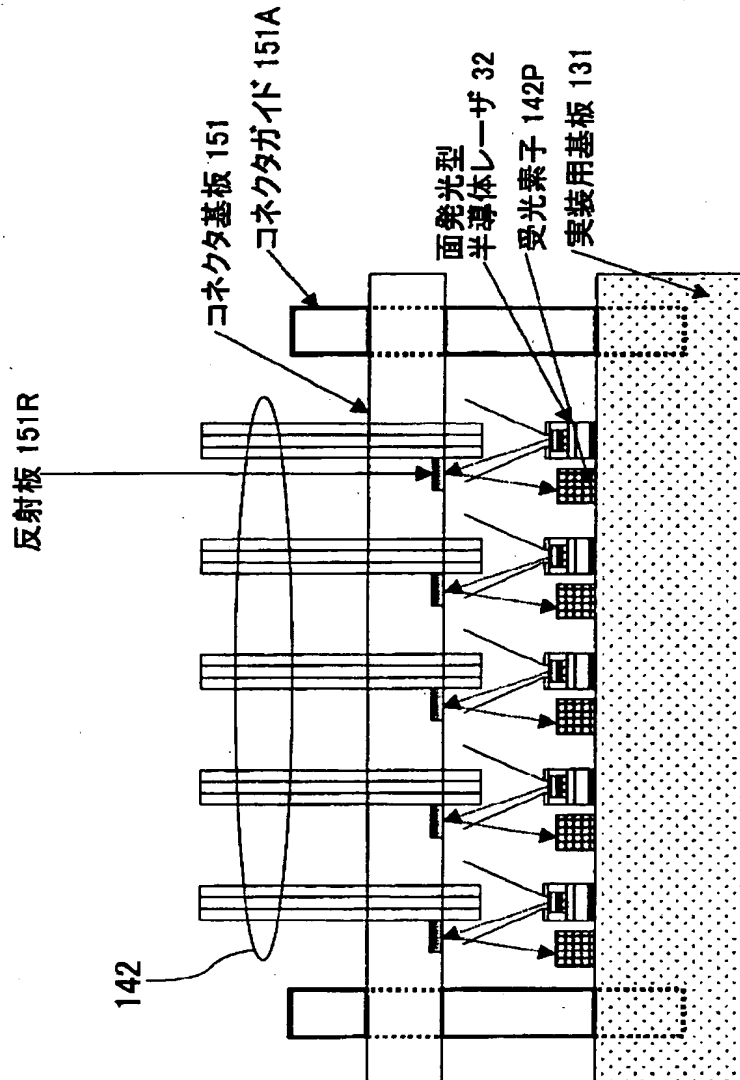
【図 8 9】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザーダイオード素子を用いた光通信システムの構成を示す模式図



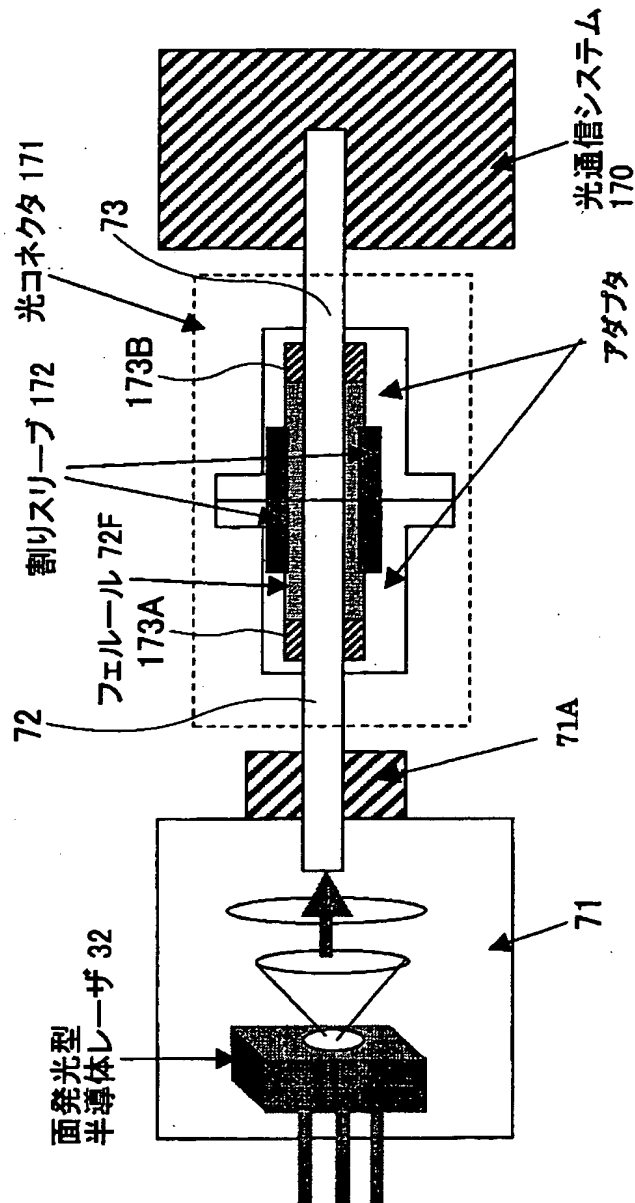
【図 9 0】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオード素子を用いた光通信システムの面発光レーザダイオードとモニタ用受光素子および反射面を示す図



【図 9 1】

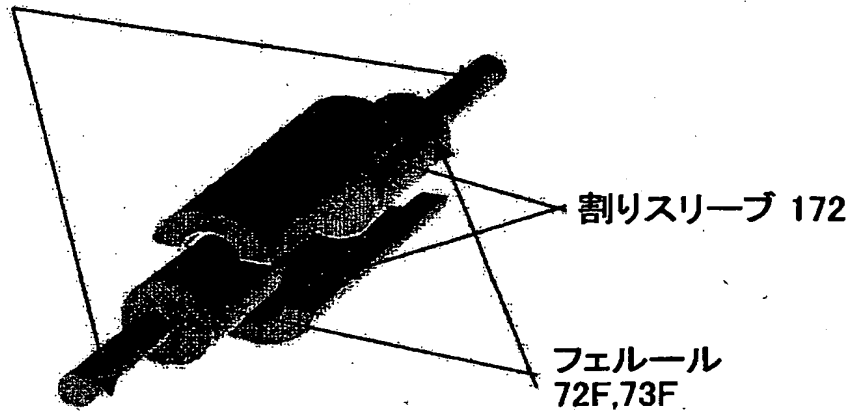
本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオード、
光ファイバ、光コネクタからなる光通信システムの
構成を示す図



【図 9 2】

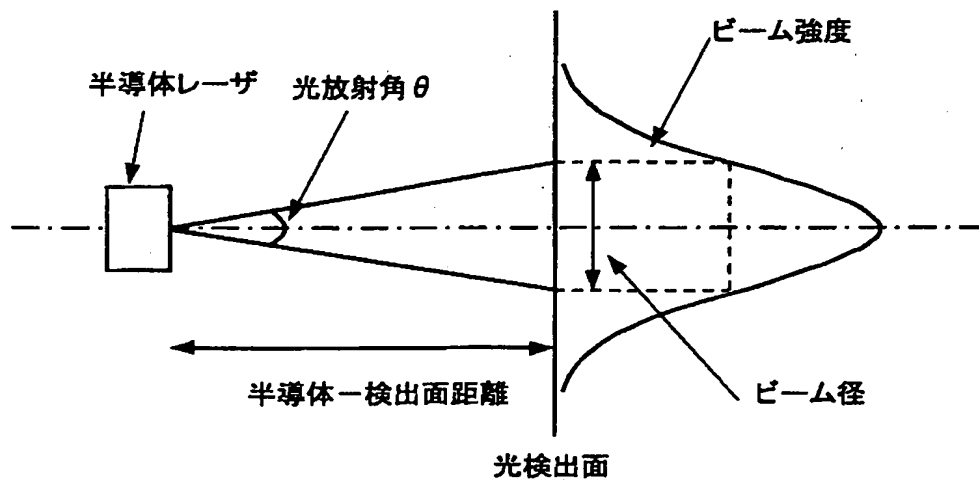
本発明の一実施例による光ファイバ、フェルール、
割リスリーブの位置関係を示す図

光ファイバ 72,73



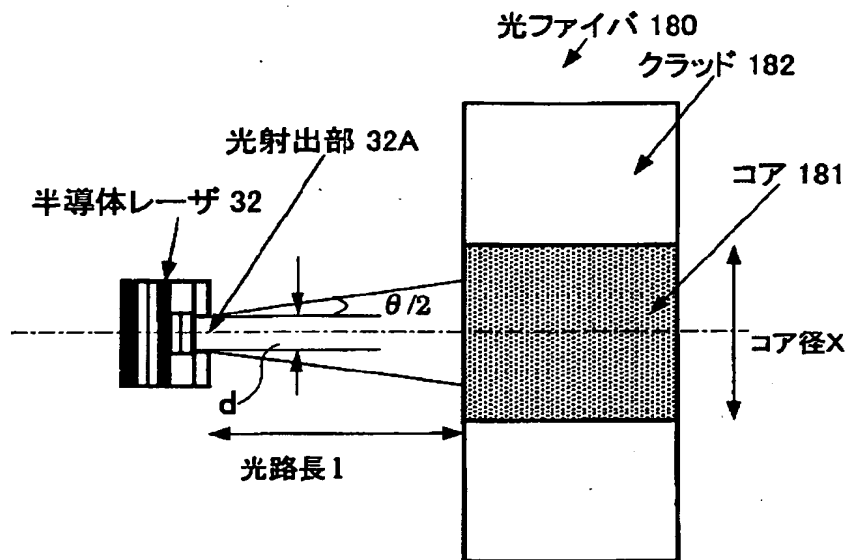
【図 9 3】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオードの
光放射角とビーム径の関係を示す図



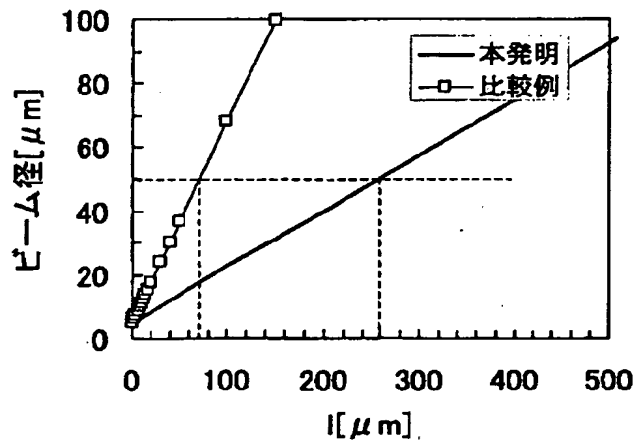
【図 9 4】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオードの
ビームの広がりと光ファイバのコア径、光路長の関係を示す図



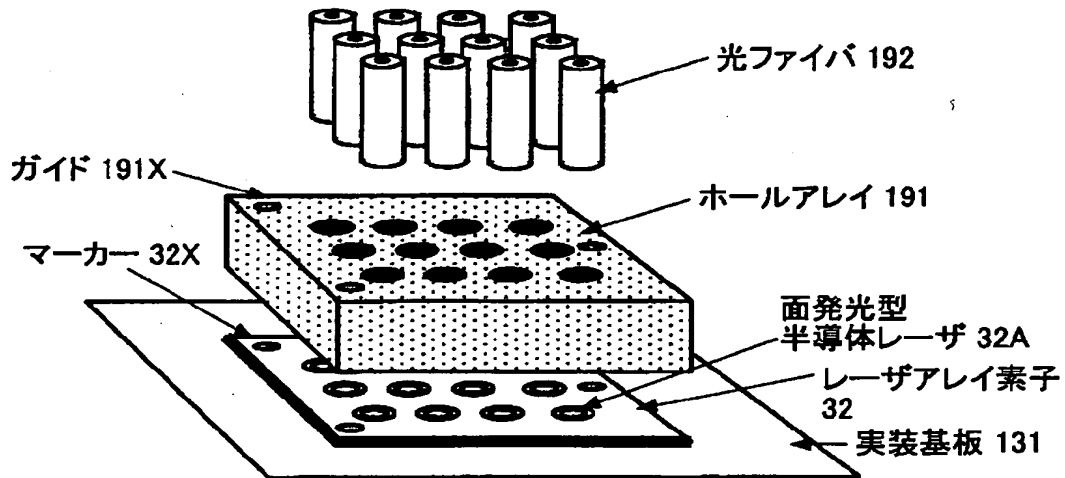
【図 9 5】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオード素子の
のビーム径と光路長の関係を示す計算例を示す図



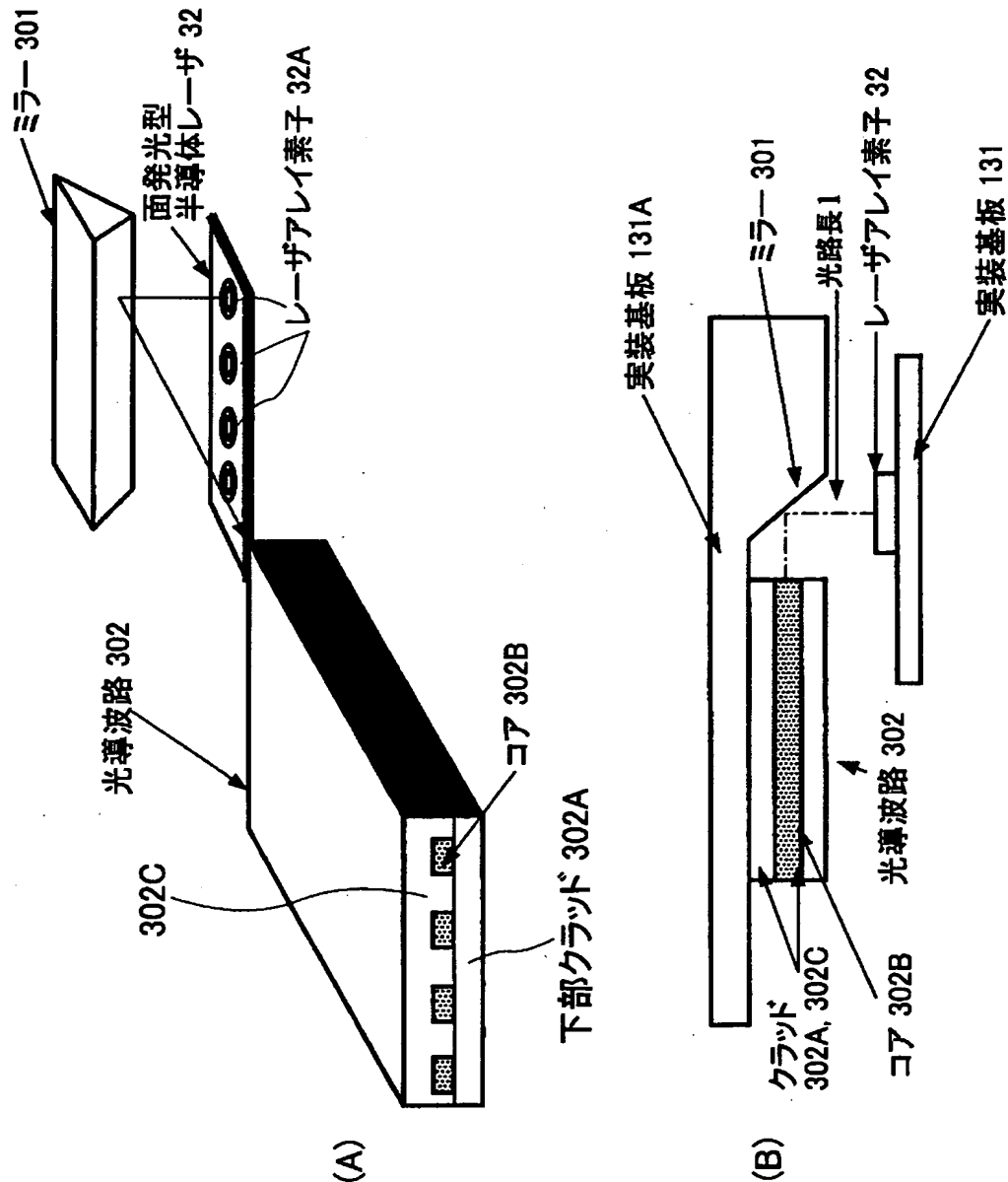
【図 9 6】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオード素子を用いた光通信システムのレーザダイオードと光ファイバの結合部の構成を示す図



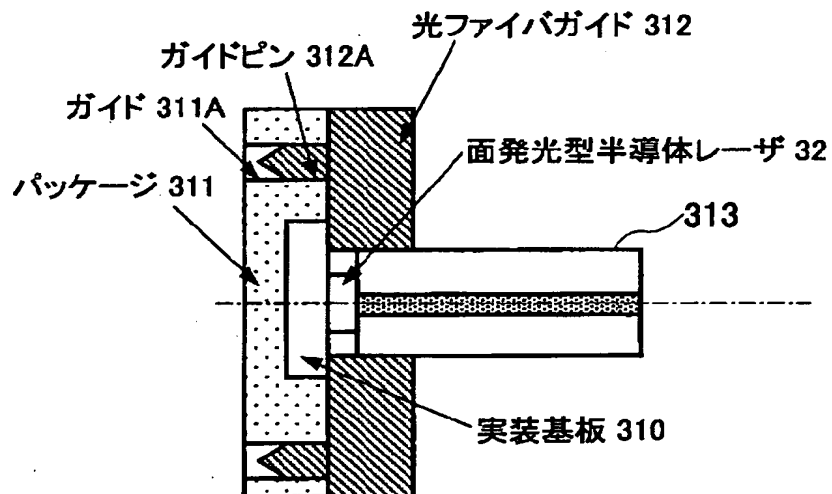
【図 9. 7】

(A)、(B)は、本発明の一実施例による長波長面発光
レーザダイオード素子を用いた光通信システムの
レーザダイオードと光導波路の結合部の構成を示す図



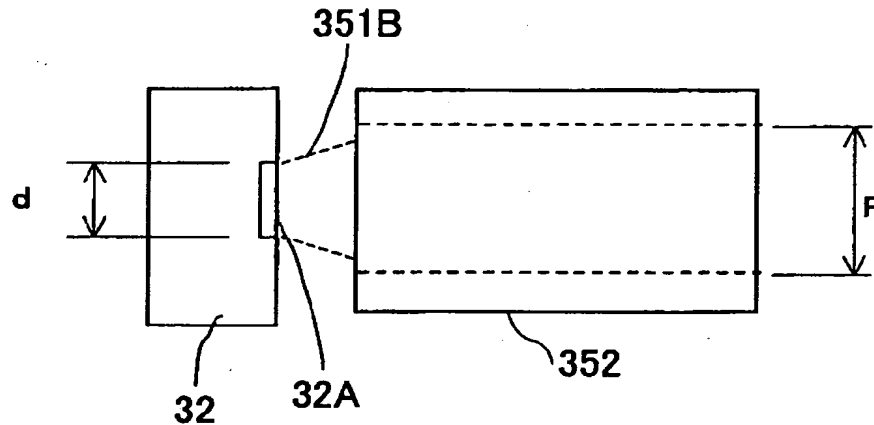
【図 9 8】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオード素子を用いた光通信システムのレーザダイオードと光導波路の結合部の構成を示す図



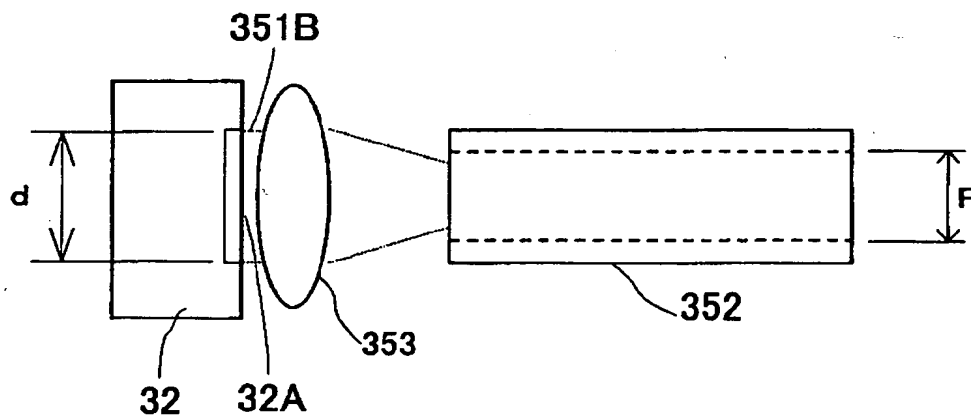
【図 9 9】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオード素子と光ファイバを用いて直接カップリングさせた光通信システムの構成を示す図



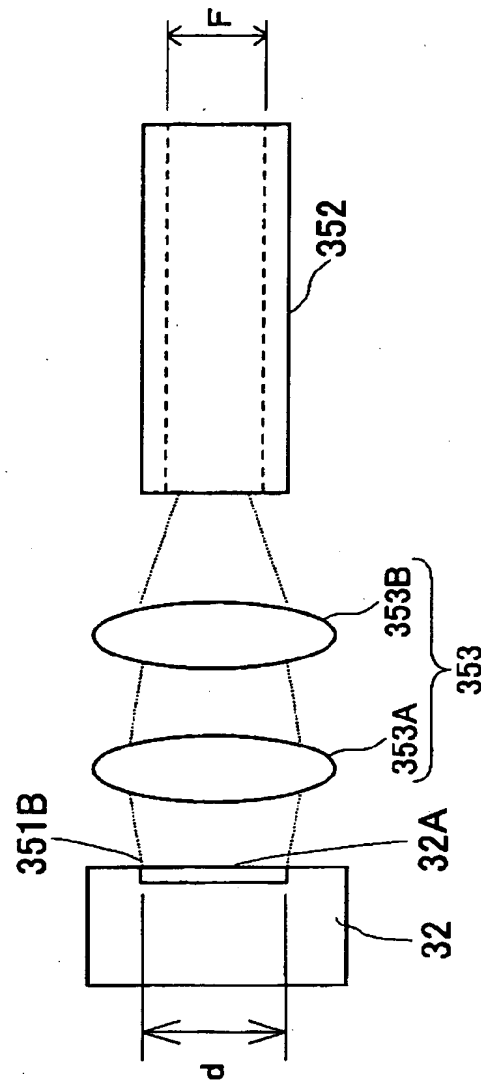
【図 1 0 0】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオード素子を用いた光通信システムの構成を示す図



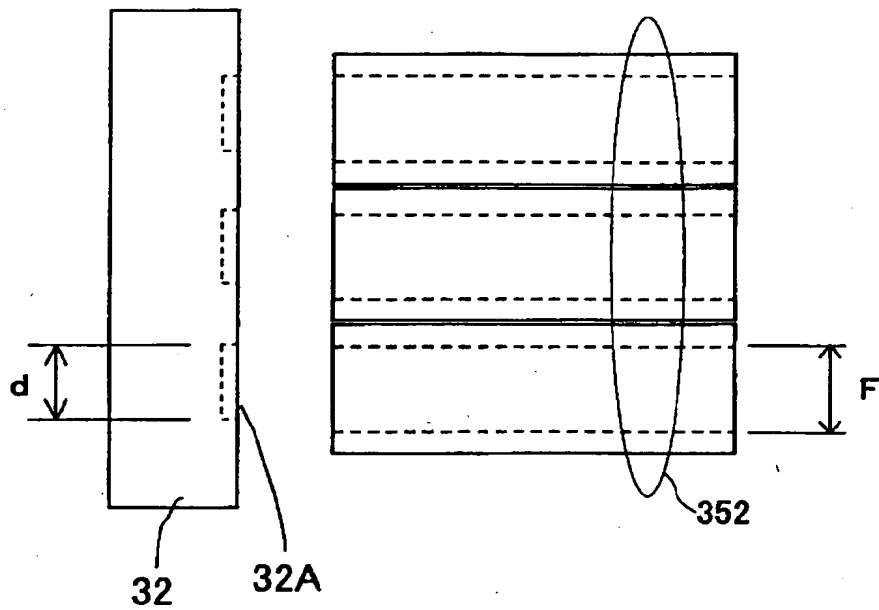
【図 1 0 1】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオード素子を用いた光通信システムの構成図



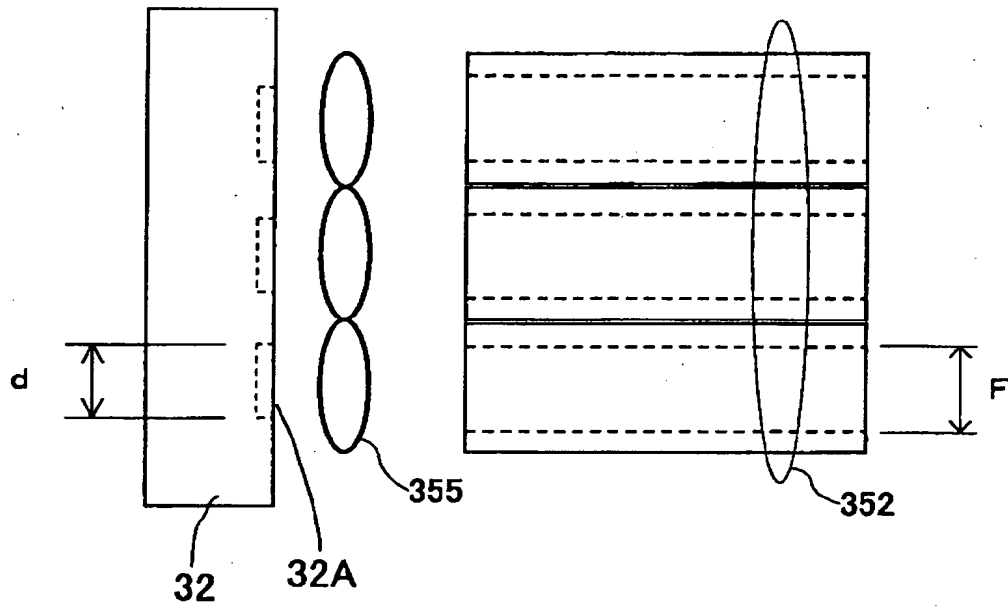
【図 1 0 2】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオード素子を用いた光通信システムの構成を示す図



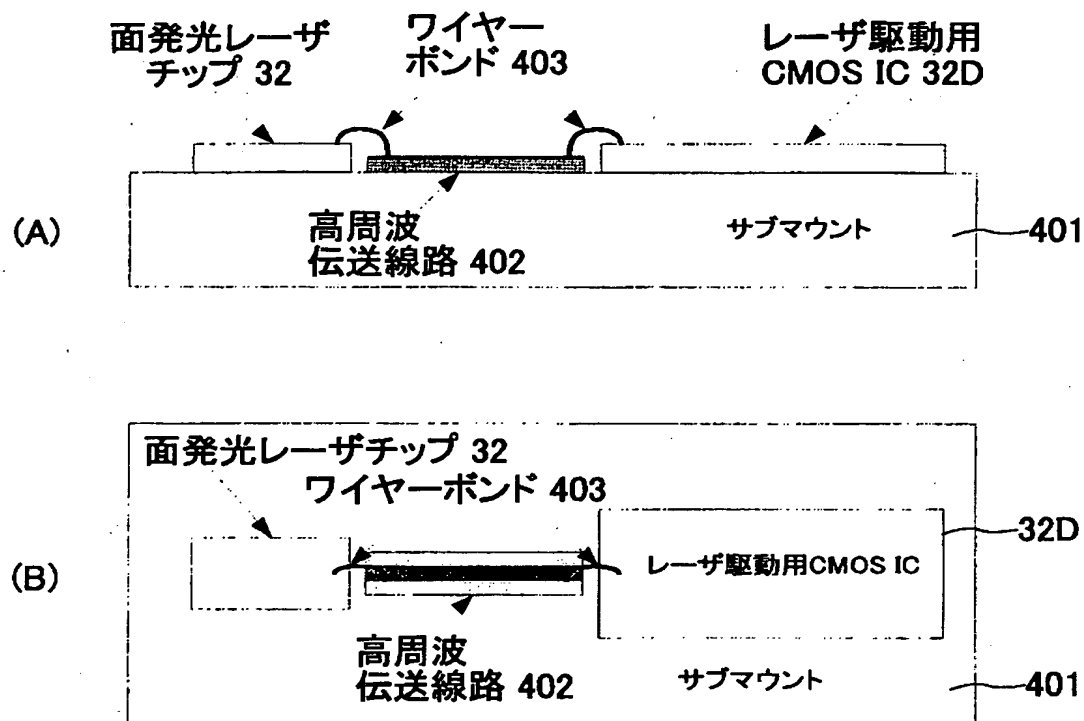
【図 1 0 3】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオード素子を用いた光通信システムの構成を示す図



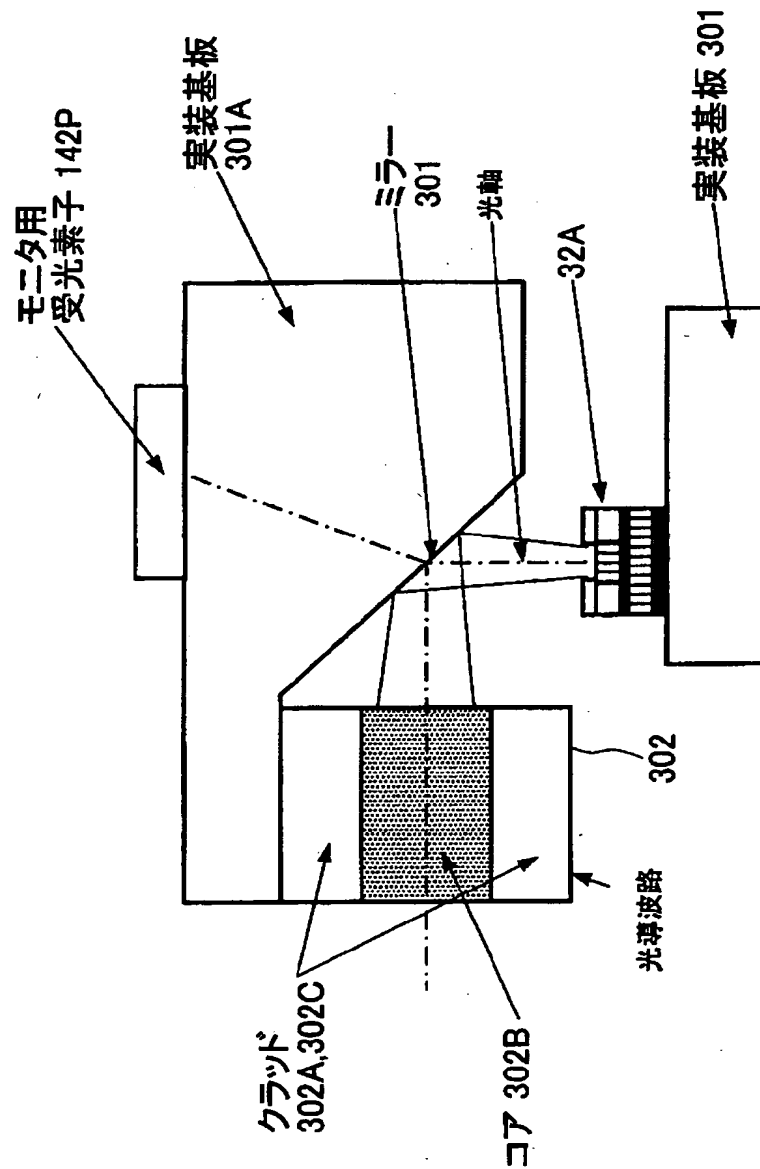
【図 1 0 4】

(A), (B)は、本発明の一実施例による長波長面
発光レーザダイオード素子を実装した例を示す図



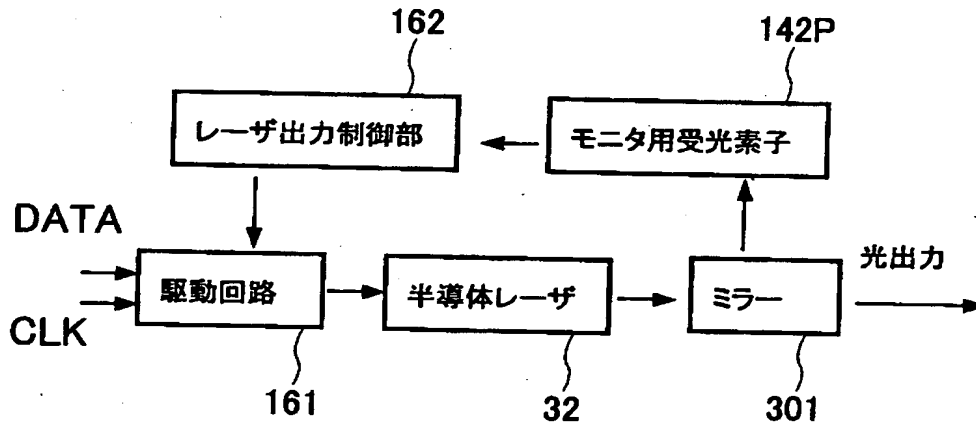
【図105】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオード素子を用いた光通信システムの構成を示す図



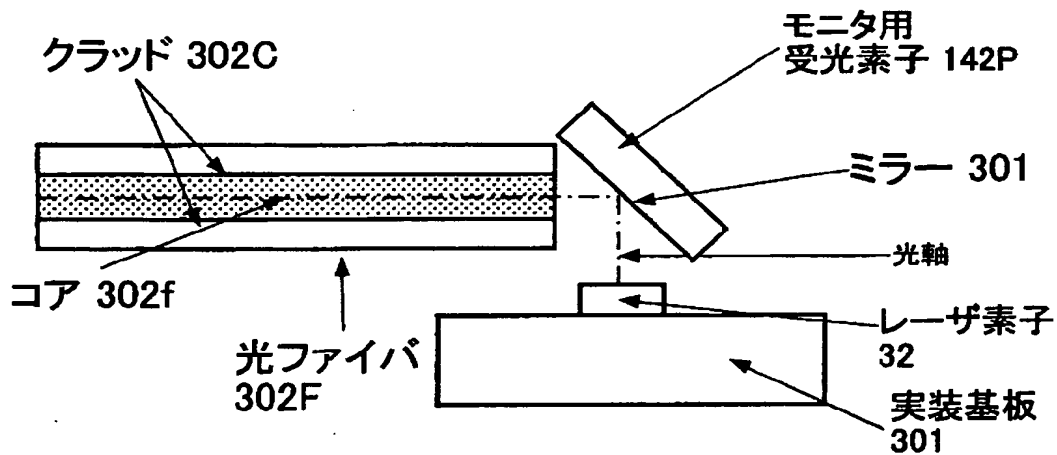
【図106】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオード素子を用いた光通信システムで使われる制御装置の構成を示すブロック図



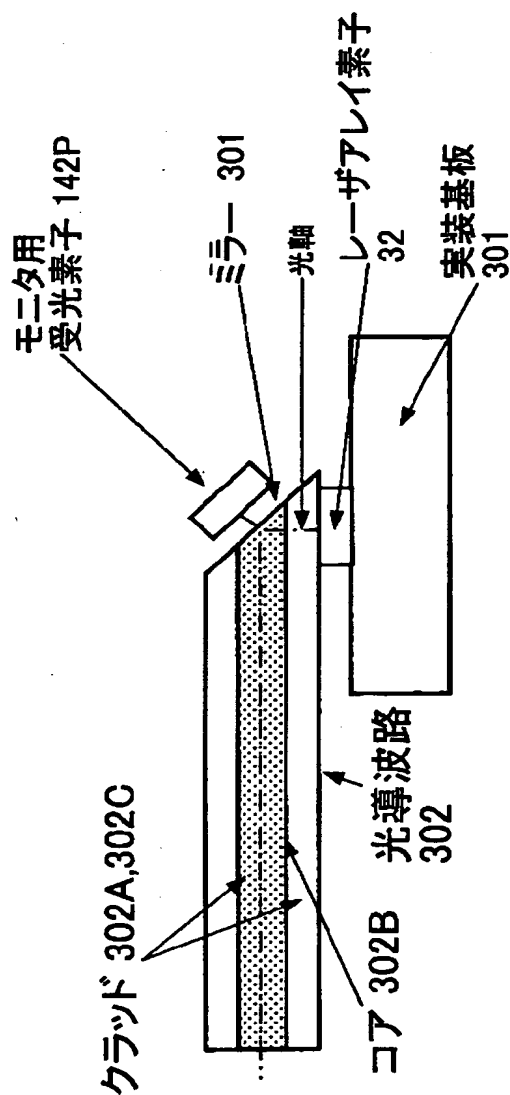
【図107】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオード素子を用いた光通信システムの構成示す図



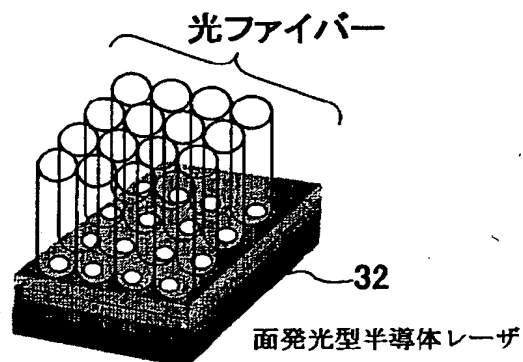
【図108】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザーダイオード素子を用いた光通信システムの構成を示す図



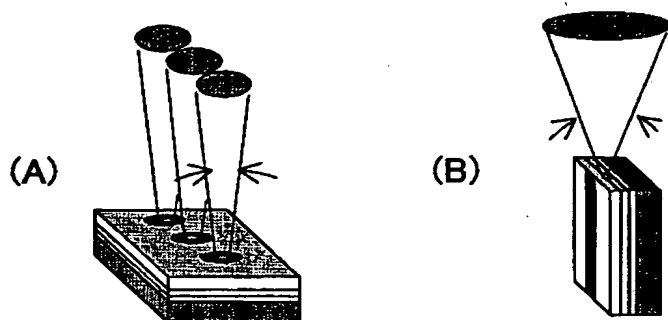
【図109】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオード素子を用いた光通信システムの構成を示す図



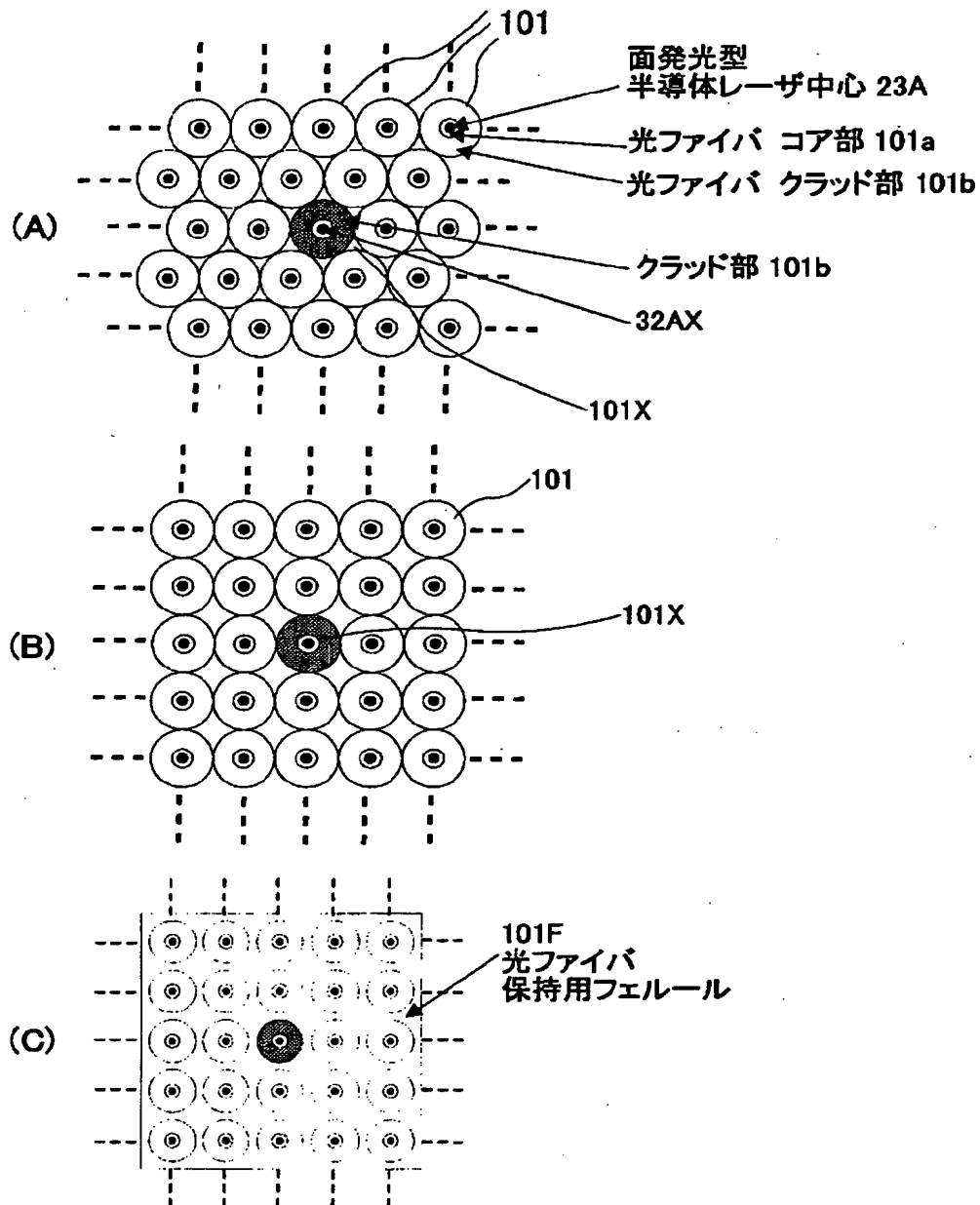
【図110】

(A), (B)は、本発明の一実施例によるレーザダイオード素子の出射角を示す図



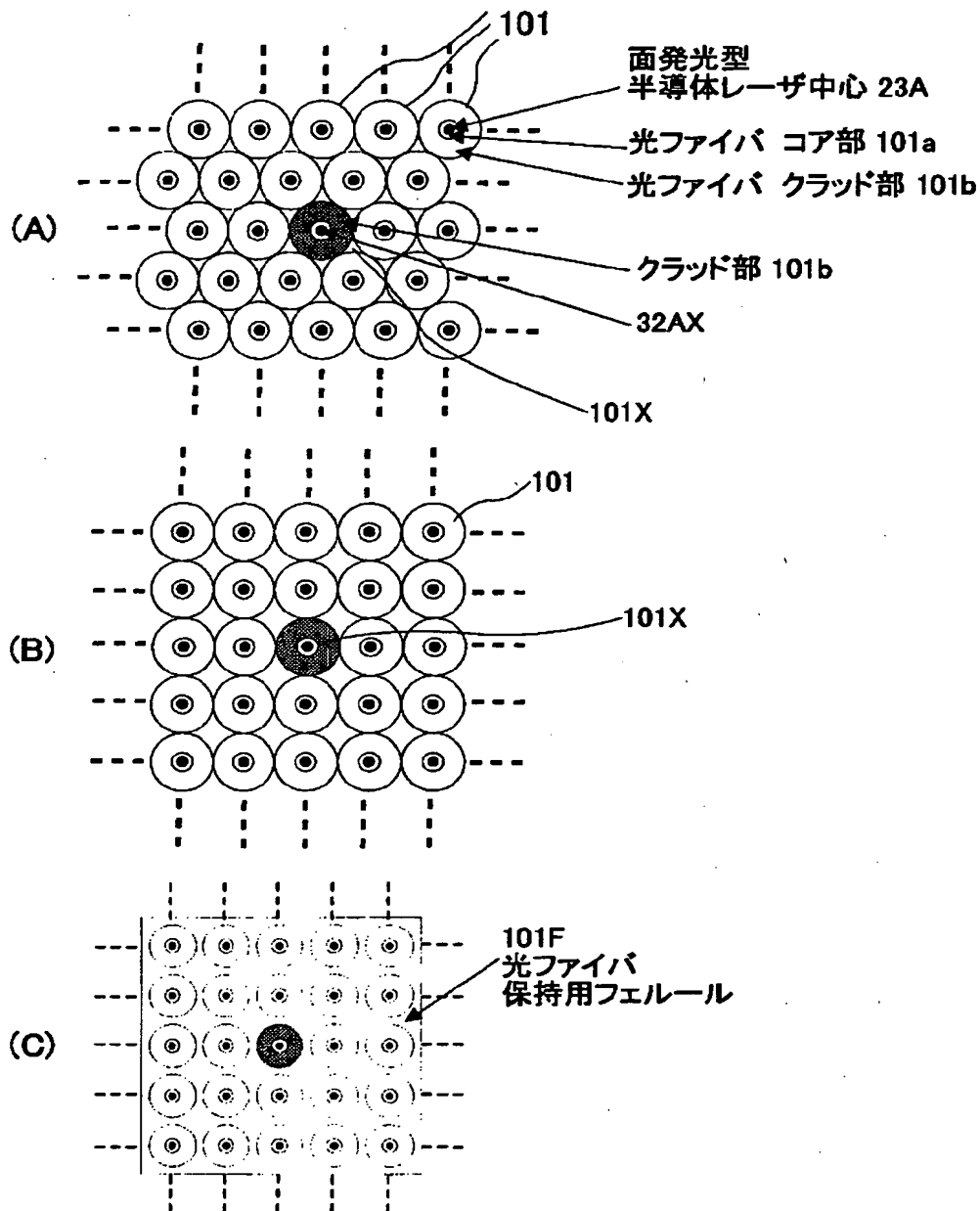
【図 1 1 1】

(A)～(C)は、本発明の一実施例による光ファイバ束を示す図



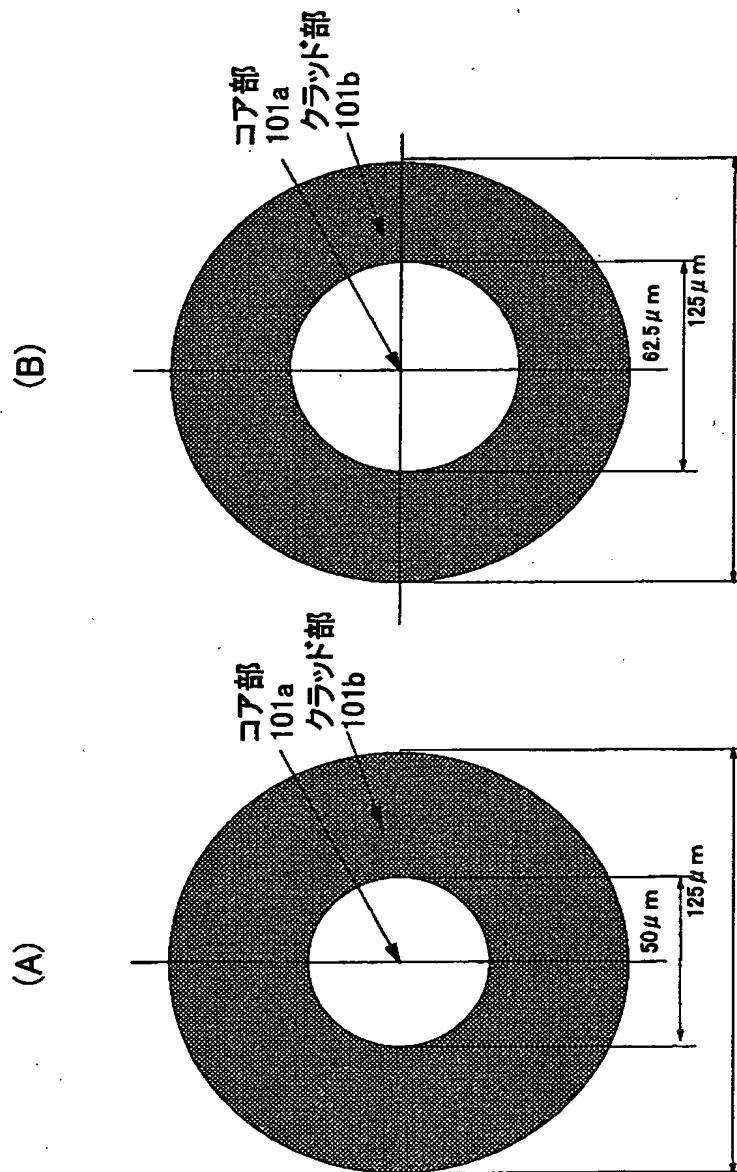
【図 1 1 2】

(A)～(C)は、本発明の一実施例による光ファイバ束を示す図



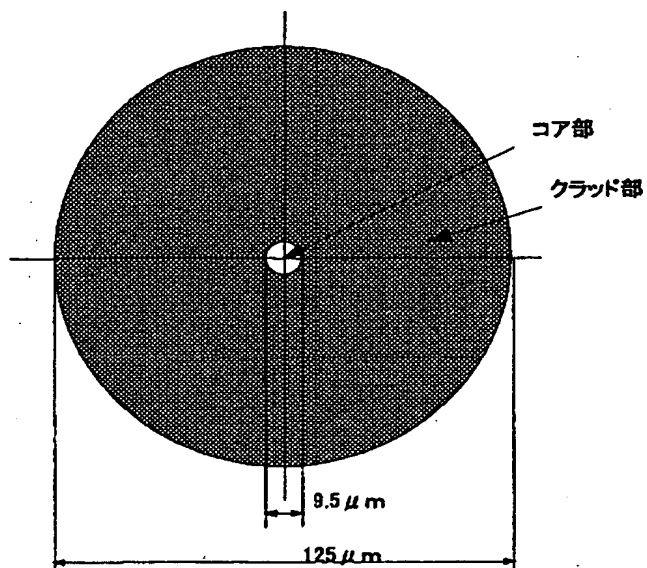
【図 1 1 3】

(A), (B)は、本発明の一実施例による
マルチモード伝送用光ファイバの断面を示す図



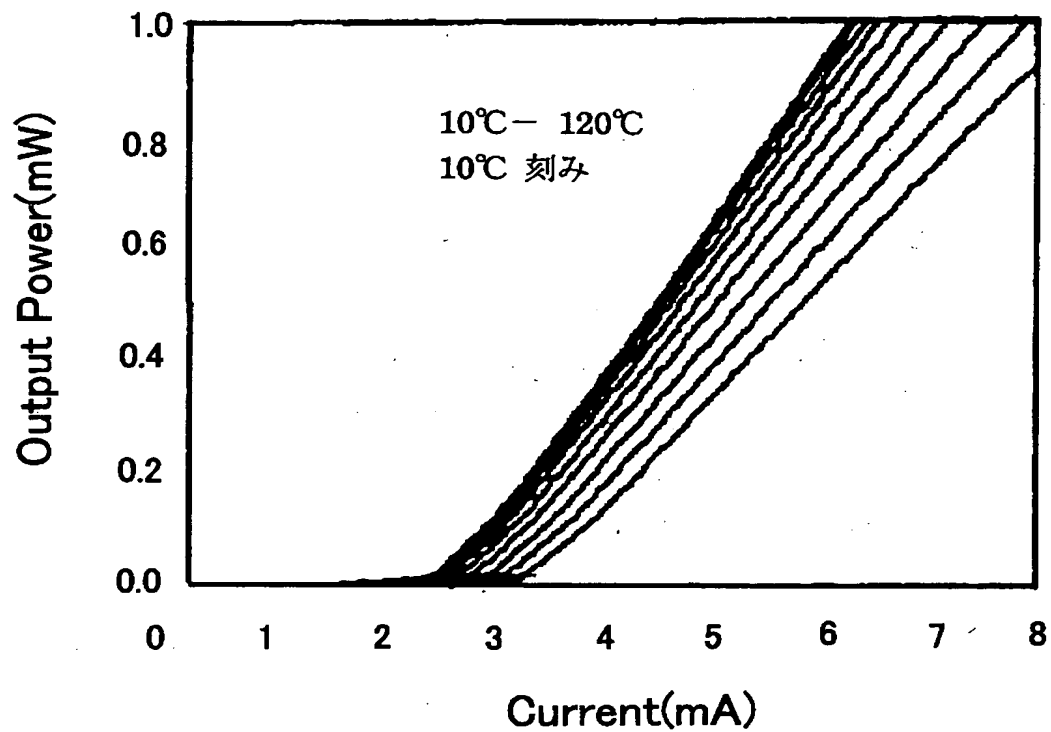
【図 1 1 4】

本発明の一実施例によるシングルモード伝送用光ファイバの
断面を示す図



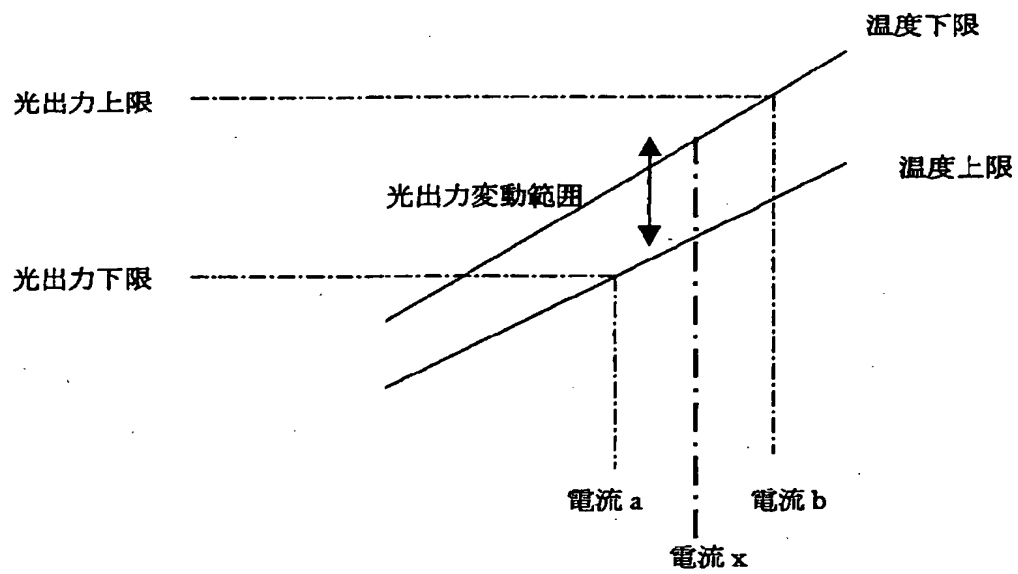
【図 1 1 5】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオード素子の温度別の電流－光出力特性を示す図



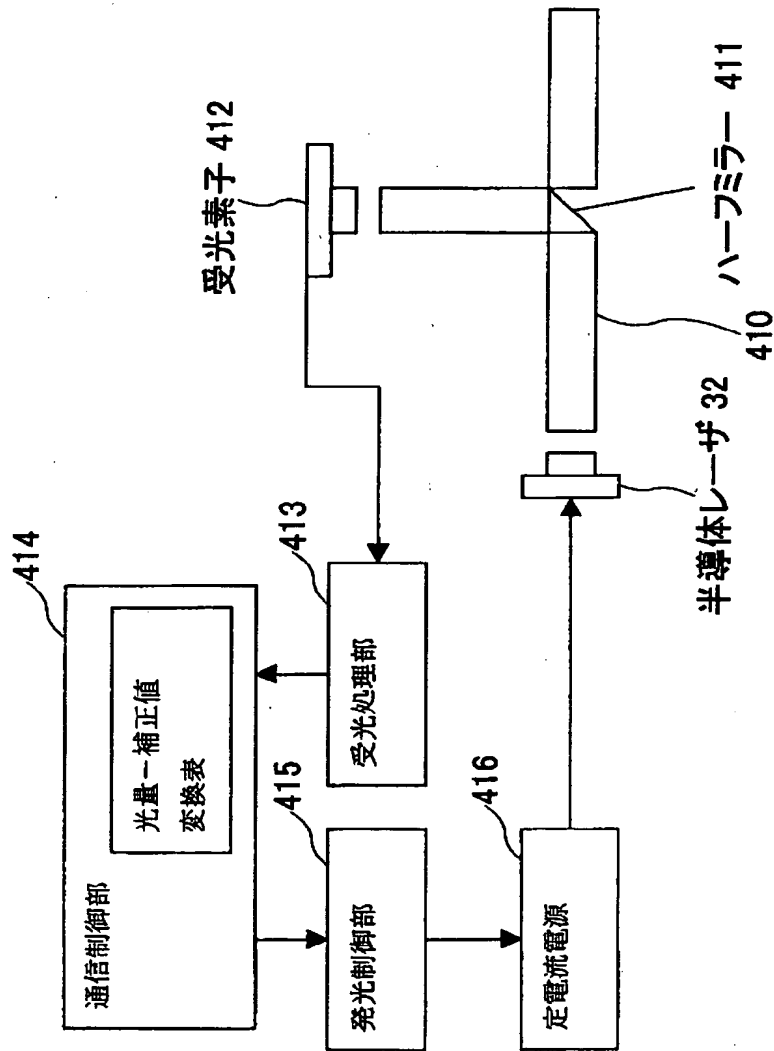
【図 1 1 6】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオード素子の電流制御を説明する図



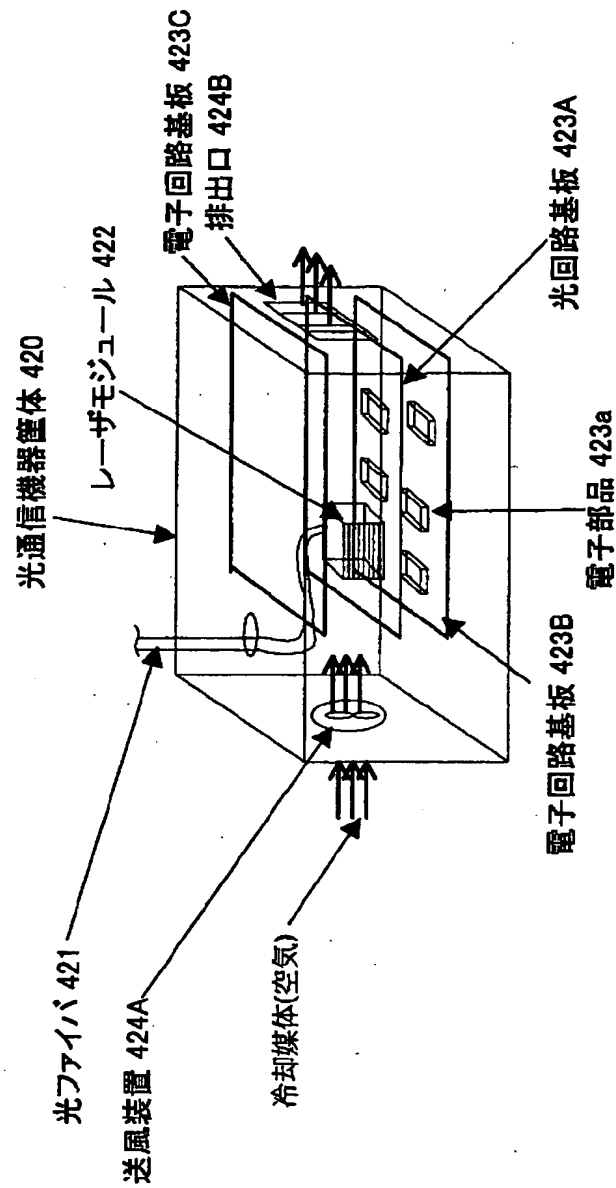
【図 1 1 7】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザーダイオード素子の電流制御に使われる構成を示す図



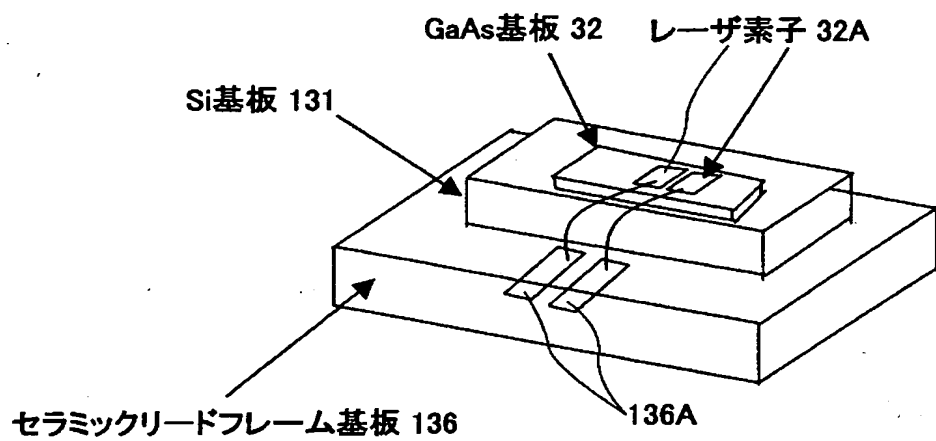
【図118】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザーダイオード素子を搭載した光通信機器内を示す図



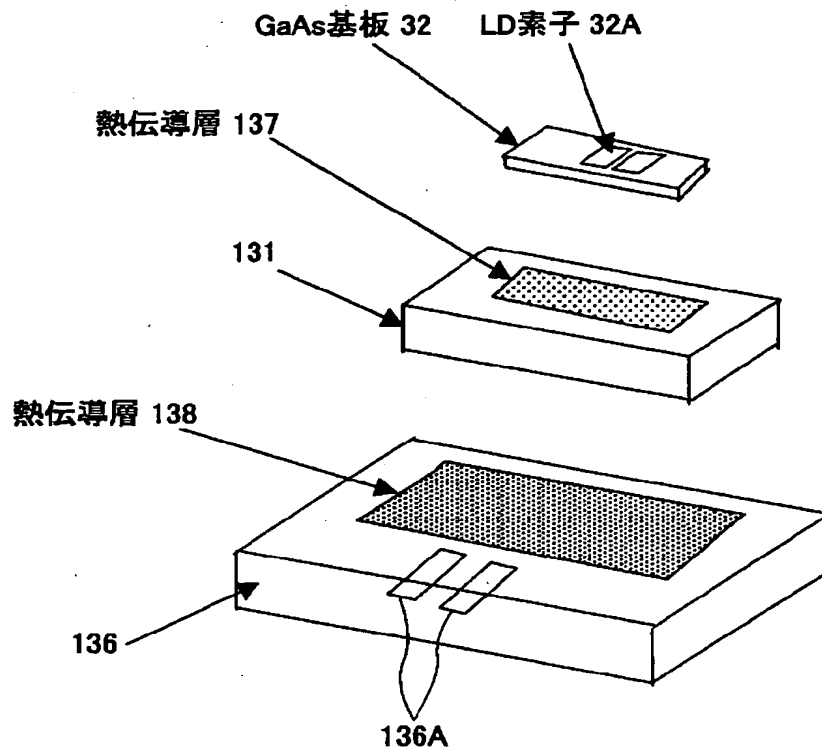
【図119】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオード
モジュールの構成を示す図



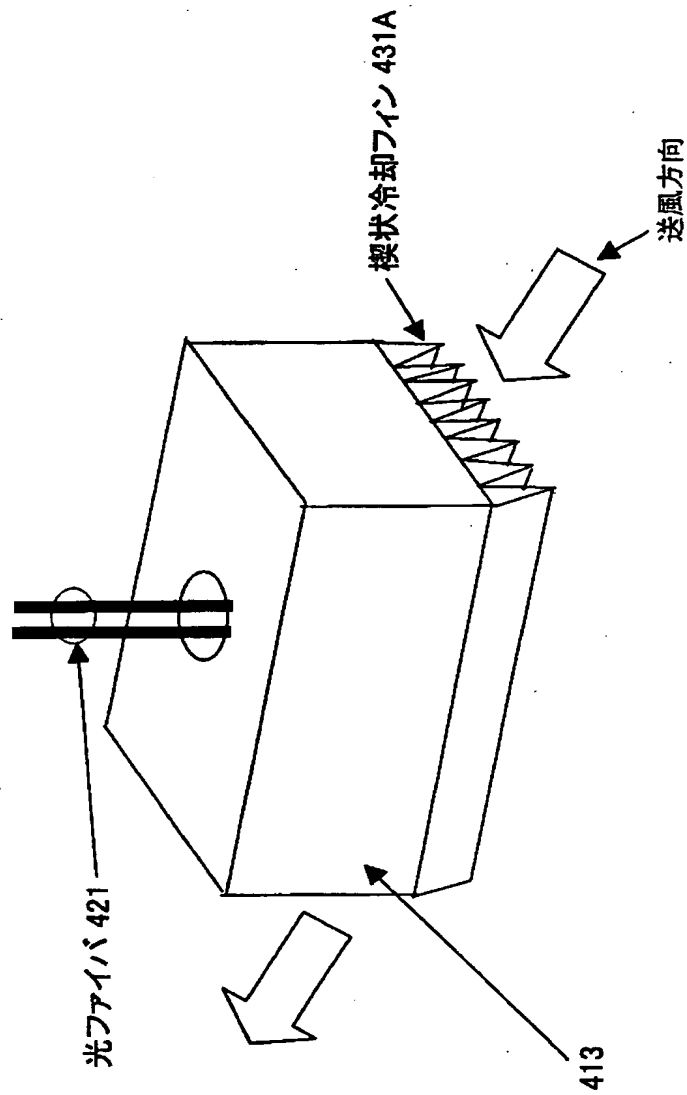
【図 1 2 0】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザダイオード素子の構成を示す図



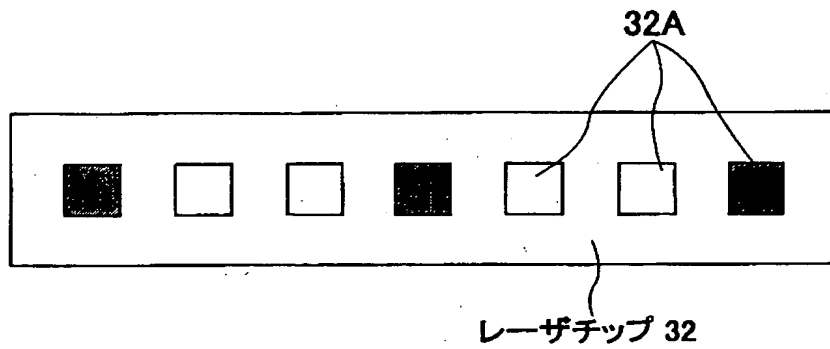
【図121】

本発明の一実施例による長波長面発光レーザーダイオード
モジュールの構成を示す図



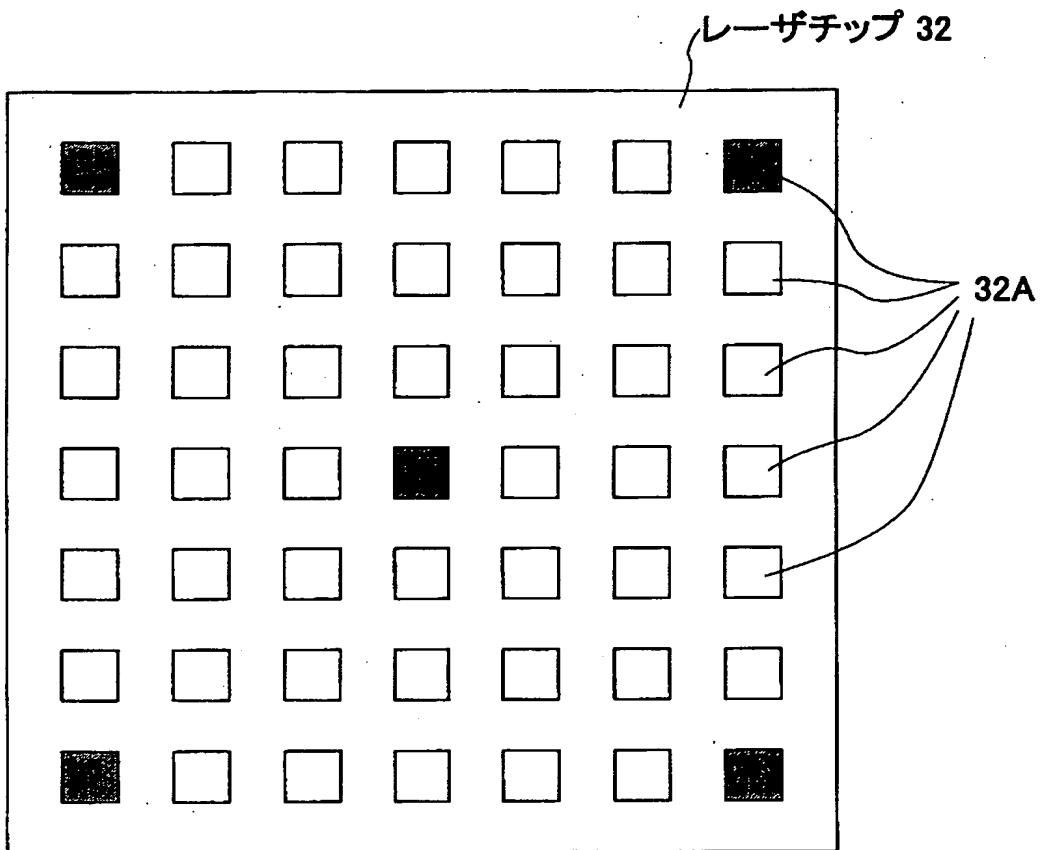
【図 1 2 2】

本発明に使用するレーザチップの一例を示す図



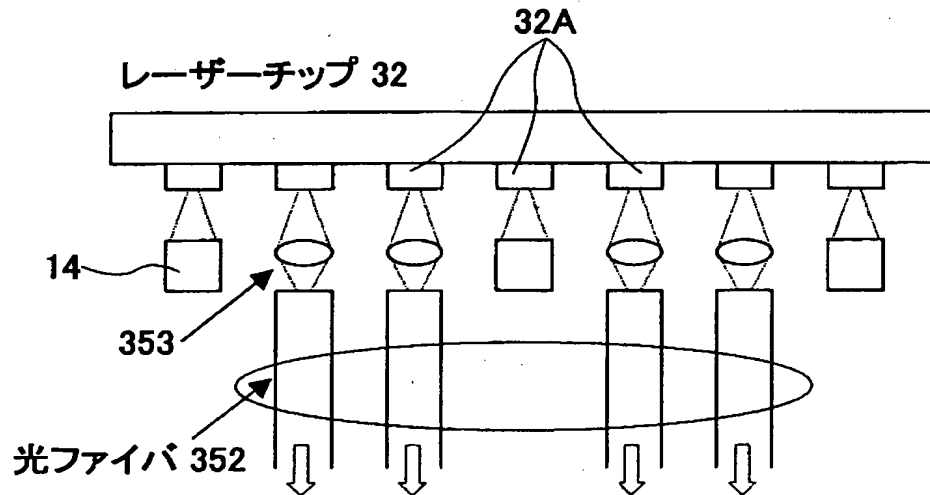
【図 1 2 3】

本発明に使用するレーザチップの別の例を示す図



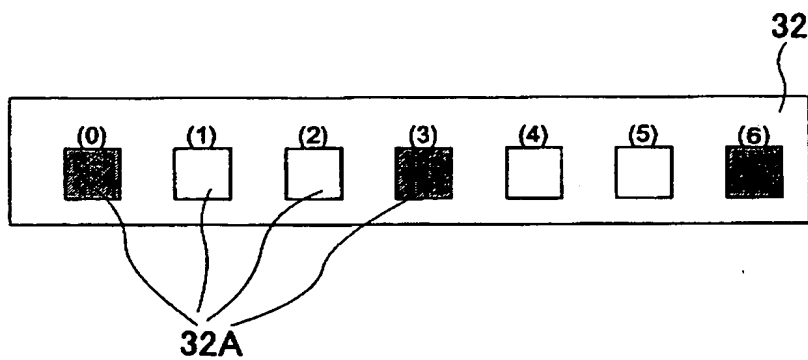
【図 1 2 4】

本発明のシステムの一例を示す図



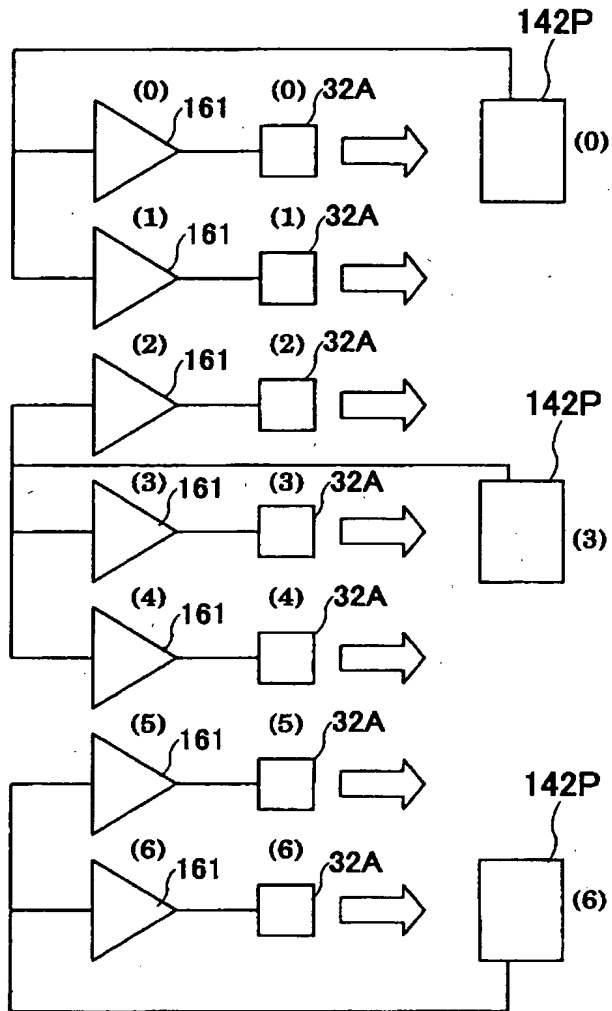
【図 1 2 5】

本発明のシステムを説明するための
レーザーチップの構成を示す図



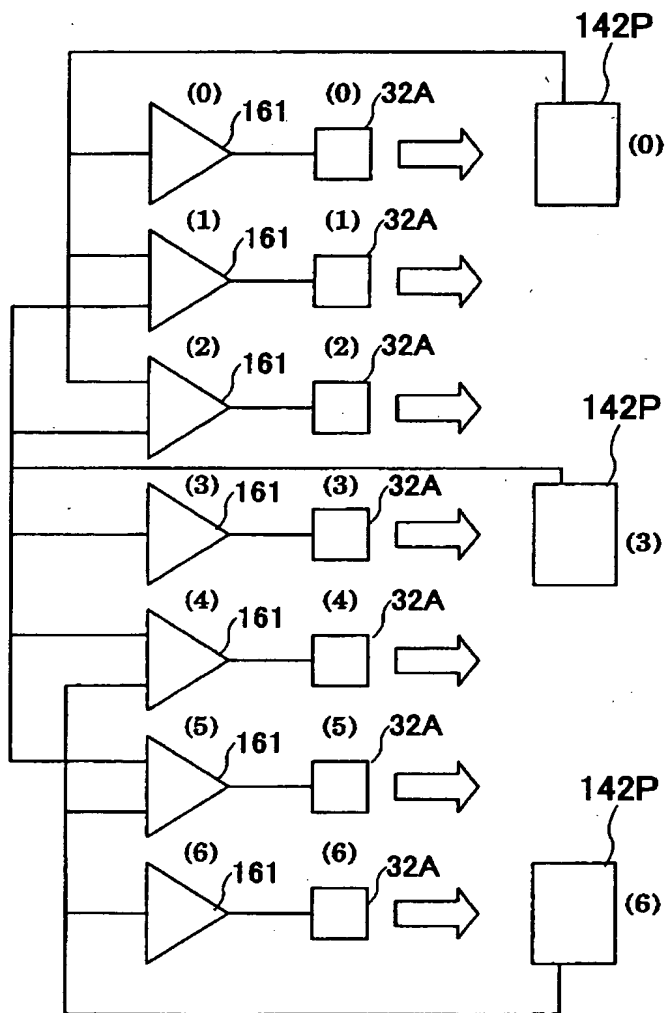
【図 1 2 6】

本発明のシステムの制御系の一例を示す図



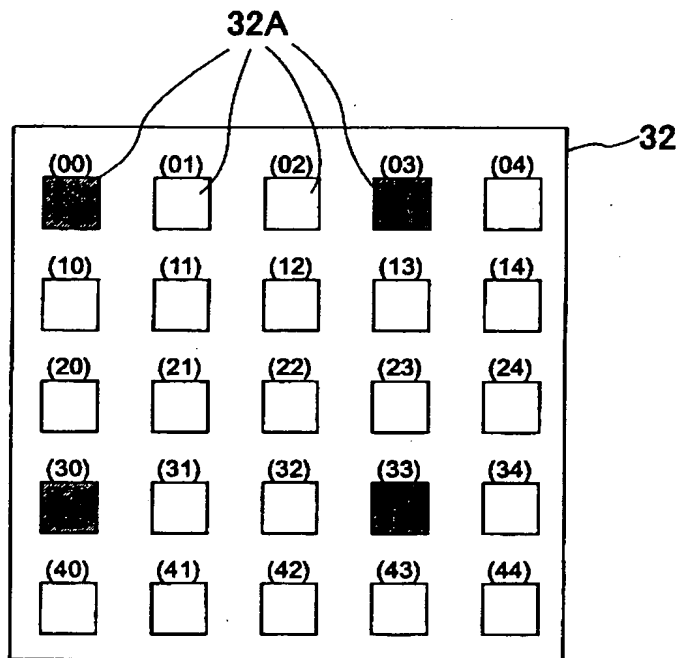
【図 1 2 7】

本発明のシステムの制御系の別の例を示す図



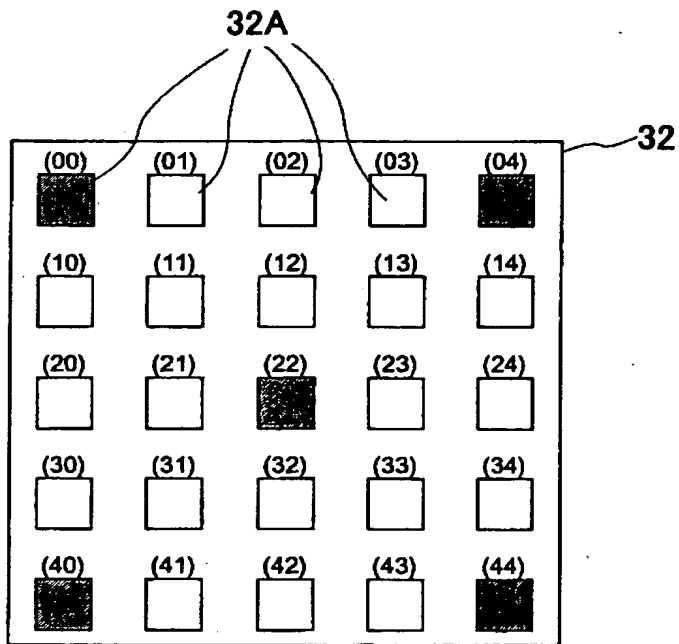
【図 1 2 8】

本発明のシステムを説明する図



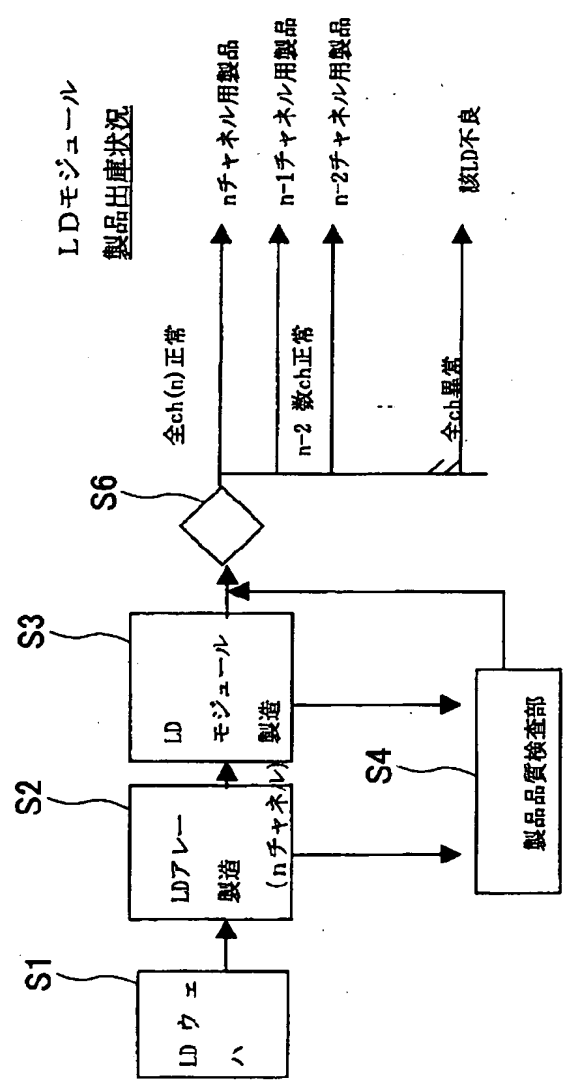
【図 1 2 9】

本発明のシステムを説明する別の図



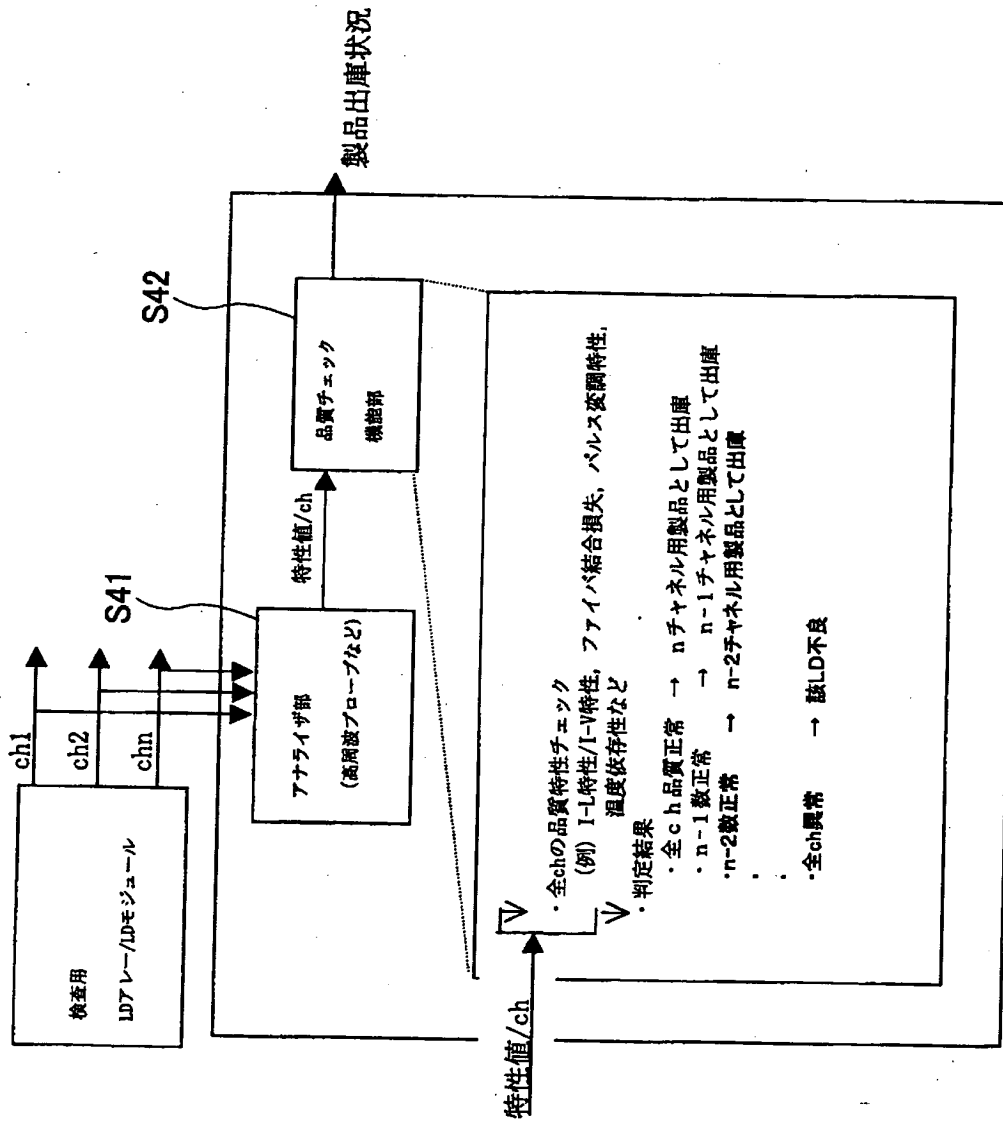
【図130】

本発明の一実施例に係る長波長面発光レーザダイオード素子を使用したレーザアレイモジュールの製造プロセスを示す図



【図131】

図130に記す製造プロセスにおける
製品品質工程を詳述した図



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 1. 1 ~ 1. 7 μ m 帯域で動作する、面発光レーザダイオードを使った光送受信システムあるいは光通信システムを提供する。

【解決手段】 GaInNAs 系もしくは GaInAs 系で 1. 1 ~ 1. 7 μ m の光を発する活性層と、前記活性層の上部及び下部に設けられた反射鏡よりなる共振器構造とを備え、前記反射鏡を、AlGaAs 系で屈折率が小さい第 1 の材料層と AlGaAs 系で屈折率が大きい第 2 の材料層とを周期的に繰り返した半導体分布ブラッグ反射鏡より構成し、前記第 1 および第 2 の材料層の間に、中間的な組成を有する AlGaAs 系のヘテロスパイク緩衝層を、20 ~ 50 nm の厚さに設けた面発光レーザダイオード素子を光源として使い、前記発光光源に光ファイバ伝送路を結合し、前記光ファイバ伝送路の他端に受光ユニットを設けることにより、光送受信システムあるいは光通信システムを構築する。

【選択図】 図 2

出 願 人 履 歴 情 報

識別番 [000006747]

1. 更年月日 1990年 8月24日

[更理由] 新規登録

住 所 東京都大田区中馬込1丁目3番6号
氏 名 株式会社リコー

BEST AVAILABLE COPY